

전력할당을 통한 LDPC부호의 높은 SNR에서의 성능개선 방법

정회원 이 기준*, 종신회원 정 하 봉*, 준회원 임 주 혁***,
정회원 최 은 아**, 장 대 익**,

Performance Improvement in High SNR for LDPC codes using Power Allocation

Kijun Lee* *Regular Member*, Habong Chung* *Lifelong Member*,
Juhyuk Im*** *Associate Member*, Eun-A Choi**, Dae-Ig Chang** *Regular Members*,

요 약

본 논문에서는 유한 길이 LDPC 부호의 높은 신호대 잡음비(SNR)에서 성능 향상을 위한 방법으로 비균등 전력할당 방법을 제안한다. 밀도진화(density evolution)를 통해서 얻어진 Tanner 그래프의 변수 노드와 체크 노드 간의 연결 분포(degree distribution)와 실제 사용되는 부호의 연결 분포 간의 차이를 변수 노드의 차수에 따라 해당 비트에 전력을 비균등하게 할당하는 방법을 이용한다. 본 논문에서는 IEEE 802.16e 표준에 제시되어 있는 부호를 이용하여 모의실험을 수행하였고, 비교적 높은 SNR에서 성능이 향상됨을 볼 수 있었다.

Key Words : Power Allocation, Density Evolution, Low-Density Parity-Check(LDPC) Codes, IEEE802.16e Standard, Bit Reliability.

ABSTRACT

In this paper, we suggest the power allocation method which enhances the performance in high SNR for LDPC codes. In this method, bit power is unequally allocated proportionally to the difference of the degree distributions of variable and check nodes of Tanner graph between practically used codes and the codes optimized by density evolution. Simulation is performed to the codes in IEEE 802.16e standards, and the results show that the proposed method works well in high SNR.

I. 서 론

저밀도 패리티-체크(low-density parity-check, 이하 LDPC) 부호는 1962년 Gallager^[1]에 의해서 처음 제안되었다. 1993년 반복 복호기법(iterative

decoding)이 터보 부호의 복호 방법^[2]으로 처음으로 제안된 이래 그래프를 이용한 반복 복호 방법이 주목을 받게 되었다. 1996년 Mackay와 Neal^[3]은 터보 부호와 유사한 특성과 성능을 보이는 LDPC 부호를 재발견하였다. 이후 LDPC 부호는 채널 용량

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

[2007-S-008-01, 21GHz대역 위성방송 전송기술 개발]

* 홍익대학교 전자공학과 (kijuni@mail.hongik.ac.kr, habchung@hongik.ac.kr)

** 한국전자통신연구원 통신위성 연구그룹 (eachoi@etri.re.kr, dchang@etri.re.kr)

*** 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 (juhyuk.im@samsung.com)

논문번호 : KICS2007-06-259, 접수일자 : 2007년 6월 10일, 최종논문접수일자 : 2007년 9월 5일

에 근접하는 성능을 보이는 특징으로 인해 이동통신, 방송, 멀티미디어, 저장장치 등 다양한 분야의 부호화 방안으로서 활발히 연구되고 있다.

일반적으로 LDPC 부호의 설계 시, Tanner 그래프 상의 변수 노드(variable node)와 체크 노드(check node)간의 최적의 연결 분포는 메시지 전달 복호 하에서 LDPC 부호의 용량 결정 방법의 하나인 밀도진화(density evolution) [5]를 토대로 찾게 된다[6]. 그러나 실제 사용되는 LDPC 부호에서 밀도진화를 통해 얻어진 최적의 연결 분포를 정확하게 적용하기에는 다음과 같은 어려움이 있다. 먼저 실제 사용되는 부호는 유한 길이(finite length)를 가지므로 특정 차수의 변수 노드의 비율을 특정 길이에 정확히 배분하기가 쉽지 않다. 그리고 밀도진화를 통해 얻어진 최적의 연결 분포는 때때로 높은 차수의 변수 노드 역시 포함하고 있는데 많은 경우 설계상의 제약으로 인해 패리티 체크 행렬 안에 이를 나타내기에는 까다로운 일이 된다. 따라서 대부분 LDPC 부호의 설계는 밀도진화를 통해 얻어진 최적의 분포와 정확히 일치하지는 않지만 그에 근사한 분포를 가진 부호로 설계하게 된다.

관련 통신 시스템에서 변조 방안으로 비트 신뢰도(reliability)를 조절함으로써 성능 향상을 얻고자 하는 노력들이 있어 왔다. 그 예로 LDPC 부호화 변조 시스템에서 체이스 결합(Chase combining) 방안의 비트 매핑 방법을 기존의 매핑 방법과 달리하여 비트 신뢰도를 평균적으로 만들어 성능 개선을 할 수 있는 연구가 이루어졌다 [7],[8],[10].

본 논문에서는 실제 사용되는 부호에서의 노드 간 연결 분포와 최적의 분포를 그대로 적용하지 못하게 되는 점을 성능 열화의 원인 중 한 가지로 착안 하였다. 이에 대한 완화 방안으로서 그 두 분포 간의 차이만큼 변조 시 해당 비트에 서로 다른 전력을 할당(power allocation)하여 비트 간의 신뢰도를 조절하는 방안을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 전력할당 방법 제안을 위한 배경 이론을 소개하고, III장에서는 밀도진화에 따른 전력할당 방법을 제안한다. 그리고 IV장에서는 제안된 방안의 모의실험 결과를 보이고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 배경 이론

LDPC 부호는 선형 블록 부호의 일종으로 그 부호의 패리티 검사 행렬 안에 0이 아닌 원소의 개수가 상

대적으로 매우 적은 부호를 말한다. 이 부호의 Tanner 그래프는 패리티 검사 행렬의 열(column)에 해당하는 변수 노드와 행(row)에 해당하는 체크 노드 간의 연결로 나타내어지고, 복호는 Tanner 그래프 상에서 두 노드 간의 메시지 전달(message-passing) 기법을 기반으로 하는 합-곱(sum-product) 알고리즘, 최소합(min-sum) 알고리즘 등의 반복 복호기법이 사용된다.

LDPC 부호는 그 부호를 나타내는 Tanner 그래프의 변수 노드와 체크 노드 사이의 연결 분포를 통해서 나타낼 수 있다. 이 연결 분포는 엣지 관점의 차수 분포(degree distribution from an edge perspective) 또는 노드 관점의 차수 분포(degree distribution from a node perspective)로 표현할 수 있다.

차수가 i 인 변수 노드의 비율과 체크 노드의 비율은 각각 L_i 와 R_i 라고 하면 변수 노드와 체크 노드에 대한 노드 관점의 차수 분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(x) = \sum_{i=2}^{d_v} L_i x^i, \quad R(x) = \sum_{i=2}^{d_c} R_i x^i$$

여기서 d_v 와 d_c 는 각각 변수 노드와 체크 노드의 최고차수를 의미한다. 그리고 λ_i , ρ_i 는 각각 차수가 i 인 변수와 체크 노드로부터 나가는 전체 엣지의 비율이라 하면 엣지 관점의 분포는 다음과 같이 변수 노드와 체크 노드에 대해서 각각 나타낼 수 있다.

$$\lambda(x) = \sum_{i=2}^{d_v} \lambda_i x^{i-1}, \quad \rho(x) = \sum_{i=2}^{d_c} \rho_i x^{i-1}$$

이 두 관점에 따른 분포는 다음과 같은 식으로 서로 바꿀 수 있다.

$$L(x) = \frac{\int_0^x \lambda(z) dz}{\int_0^1 \lambda(z) dz}, \quad R(x) = \frac{\int_0^x \rho(z) dz}{\int_0^1 \rho(z) dz}$$

$$\lambda(x) = \frac{L'(x)}{L'(1)}, \quad \rho(x) = \frac{R'(x)}{R'(1)} \quad (1)$$

LDPC 부호의 앙상블(ensemble)은 차수 분포를 이용하여 나타낼 수 있는데 이 역시 각각 엣지 관점의 분포와 노드 관점의 분포로 나타낼 수 있다. 길이가 n 이고 변수 노드와 체크 노드의 엣지 관점의 분포가 각각 $\lambda(x)$, $\rho(x)$ 인 부호의 앙상블과 노드 관점의 분포가 $L(x)$, $R(x)$ 인 부호의 앙상블은 각각 $LDPC(n, \lambda, \rho)$ 와

$LDPC(n, L, R)$ 로 나타낸다.

Richardson 등^{[4],[5]}은 LDPC 부호에 대한 합-곱 복호기의 평균 asymptotic behavior를 수치적으로 계산할 수 있는 알고리즘을 제안하였으며 이를 밀도진화라고 한다.

채널 파라미터가 δ 인 채널에서 무한대의 길이를 갖는 부호의 비트 오율 값이 반복 횟수가 증가함에 따라 0으로 수렴하게 되는 채널 파라미터의 supremum δ^* 를 문턱값(threshold)이라고 한다.

BSC(binary symmetric channel), BEC(binary erasure channel) 그리고 BIAWGN(binary-input additive white Gaussian noise) 등의 채널과 같은 binary memoryless symmetric(BMS) 채널에서는 반복 복호상에서의 오류 확률 분석을 할 때 전송 부호가 all-zero 부호어(codeword)로 가정해도 무방하다. Concentration 정리[4]에 의해서 LDPC 부호의 분석은 LDPC 부호 앙상블의 평균 오류 확률 분석으로 대신한다. 따라서 밀도진화는 LDPC 부호 앙상블의 반복 복호기에서의 메시지 분포를 추적하는 방안으로 이용된다. 이 때 all-zero 부호어가 보내졌다는 가정 하에 채널의 출력의 LLR(log likelihood ratio) 값에 대한 밀도(density)를 추적하게 되며 반복복호 하에서 그 밀도의 진화 과정을 살펴보게 된다. 이 때 이 밀도의 진화는 두 가지 형태로 나타나게 되는데 문턱값 이하의 채널 파라미터인 경우에는 진화되는 밀도의 중심점이 무한대로 가게 되며 그 오류 확률은 0에 가까운 값으로 향하게 된다. 반면 문턱값 이상의 채널 파라미터인 경우에는 밀도의 진화가 무한대로 가지 못하고 유한한 값의 위치로 수렴하게 되고, 오류 확률 역시 유한한 값을 가지게 된다. 그러므로 최적의 분포를 찾는 과정은 특정 제약 조건 하에서 차수 분포를 바꾸어 가면서 가장 높은 문턱값을 갖는 차수 분포를 찾아내는 과정이라 말할 수 있다. 메시지 전달 복호 하에서 BIAWGN채널인 경우 채널 파라미터를 표준 편차 σ 로 나타낼 수 있는데, [6]과 [11]에는 최적의 엣지 관점의 분포와 그에 해당하는 문턱 값 등을 제공하고 있다.

IEEE 802.16e 표준안 중 부호율이 1/2인 부호는 표 1에서와 같은 노드 분포 쌍을 갖는다^[9]. 이 부호의 문턱값 계산은 Richardson 등이 제안한 fast enough evolution of densities(FEED) 알고리즘을 이용하였다^[12]. 이 때 문턱값 σ^* 는 0.9238이고, $1/(\sigma^*)^2 (dB) = 0.6891$ 이다.

표 2에서는 이와 유사한 최적의 엣지 분포 쌍을 갖는 부호를 찾고 그에 해당하는 문턱값을 열거하였다^[11].

표 1. IEEE 802.16e 표준안 중 부호율이 1/2인 부호의 노드 관점과 엣지 관점의 차수분포

Table 1. Degree distributions from a node and an edge perspective in the rate 1/2 code of IEEE 802.16e standards

노드 관점의 차수분포			
변수 노드 분포 $L(x)$		체크 노드분포 $R(x)$	
L_2	0.4583	R_6	0.6667
L_3	0.3333		
L_6	0.2084	R_7	0.3333
엣지 관점의 차수분포			
변수 노드 분포 $L(x)$		체크 노드분포 $R(x)$	
λ_2	0.2894	ρ_6	0.6316
λ_3	0.3157		
λ_6	0.3949	ρ_7	0.3684

표 2. IEEE 802.16e 표준안 중 부호율이 1/2인 부호와 유사한 엣지 분포의 최적화 예

Table 2. Examples of optimized degree distributions from an edge perspective similar to the rate 1/2 code of IEEE 802.16e standards

부호	변수 노드 분포 $\lambda(x)$	체크 노드 분포 $\rho(x)$	문턱값 σ^*	$\frac{1}{(\sigma^*)^2} (dB)$	
1	λ_2	0.3095	ρ_6	0.9436	0.5042
	λ_3	0.3169			
	λ_6	0.0004	ρ_7		
	λ_7	0.1348			
	λ_8	0.2384			
2	λ_2	0.3192	ρ_6	0.9424	0.5153
	λ_3	0.2764	ρ_7		
	λ_7	0.4043			

III. 밀도진화에 따른 전력할당 방법

LDPC 부호를 설계할 때 밀도진화를 근거로 하여 최적의 연결 분포를 얻을 수 있다. 실제로 사용되는 부호는 이 분포에 가능한 가깝게 설계하게 된다.

본 논문에서는 이미 설계되어 있는 부호에 대하여 그 부호와 유사한 분포를 가지는 최적의 분포를 밀도진화를 통해서 알아내어 변수 노드 분포를 중심으로 각 비트의 전력을 할당하게 된다. 그리고 IEEE 802.16e 표준안의 부호를 토대로 전력 할당 방안을 제안한다. 여기서 IEEE 802.16e 표준에 제안된 부호의 노드 분포와 최적화된 노드 분포를 구별하기 위해 표

준안에 제안된 부호에서 차수가 i 인 노드의 비율을 L_i^s , 최적화된 분포를 가지는 부호 j 에서 차수가 i 인 노드의 비율을 L_i^j 라고 하자. 그리고 A_i^j 는 최적의 노드 분포를 가지는 부호 j 에 대하여 전력 할당 방안을 통해 얻어진 차수가 i 인 노드의 신호 크기라고 하자.

먼저 부호율이 1/2인 부호의 전력 할당 방안에 대하여 살펴보자. 앞서 표 1과 표 2에서는 이 부호의 노드 분포 쌍과 유사한 최적의 분포에 대해서 알아보았다. 표 2에서의 옛지 분포를 식 (1)을 이용하여 노드 분포를 표 3과 같이 구하였다.

전력 할당 이전에는 각 비트마다 동일하게 전력이 1로 할당되었다는 가정하자. 먼저 부호 1에 대하여 표 3에 따라 다음과 같이 전력을 할당하자. 원래의 부호(표준안에서 제안된 부호)와 부호 1에서 노드의 차수가 2와 3인 경우에는 서로 노드 분포가 다르지만 그와 유사한 차수를 가지는 노드 즉, 차수가 4와 5인 노드가 존재하지 않기 때문에 그 노드의 신호 크기는 표 3에 따라서 다음과 같이 구하였다.

$$A_2^1 = \sqrt{L_2^1/L_2^s} = \sqrt{0.5/0.4583}$$

$$A_3^1 = \sqrt{L_3^1/L_3^s} = \sqrt{0.3413/0.3333}$$

그리고 원래의 부호에는 차수가 6이상인 노드는 존재하지 않지만 부호 1에서는 차수가 7, 8인 노드도 존재한다. 본 논문에서 제안된 방안은 원래 부호의 분포를 재조정하는 방안이 아니기 때문에 부호 1에서의 차수 6, 7, 8에 해당하는 노드의 비율에 따라 전력을 원래 부호의 차수 6에 전력을 할당하면 A_6^1 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_6^1 = \sqrt{(L_6^1 + L_7^1 + L_8^1)/L_6^s}$$

$$= \sqrt{(0.0002 + 0.0622 + 0.0963)/0.2084}$$

부호 2에 대한 전력 할당 역시 차수가 2와 3인 노드에 대해서는 부호 1에서와 같은 방법으로 구할 수 있다. 그리고 부호 2에서 차수가 6이상인 노드는 단지 차수가 7인 노드만이 존재하기 때문에 부호 2의 차수 7에 대한 노드의 비율만큼을 차수 6에 할당한다. 그 결과를 표 4에 정리하였다.

표 5는 IEEE 802.16e 표준안에서 2/3A 부호의 변수 노드 분포를 나타내고 표 6에서는 밀도진화를 통해서 그와 유사한 분포를 갖는 변수 노드 분포를 나타낸다. 그리고 앞선 방법과 같이 IEEE 802.16e 표준안에서 2/3A 부호에 대하여 전력할당을 적용한 결과를 표 7에 나타내었다.

표 3. 표 2의 부호 1과 2의 노드 관점의 변수 노드 분포
Table 3. Variable degree distribution from a node perspective of code 1 and 2 in table 2

부호	변수 노드 분포	
1	L_2^1	0.5
	L_3^1	0.3413
	L_6^1	0.0002
	L_7^1	0.0622
	L_8^1	0.0963
2	L_2^2	0.5157
	L_3^2	0.2977
	L_7^2	0.1866

표 4. 부호율이 1/2인 부호의 변수 노드 차수 분포에 따른 신호 크기
Table 4. Amplitudes of signals according to degree distribution of the rate 1/2 code

표 4. 부호율이 1/2인 부호의 변수 노드 차수 분포에 따른 신호 크기
Table 4. Amplitudes of signals according to degree distribution of the rate 1/2 code

i	부호 1에 대한 신호 크기 A_i^1	부호 2에 대한 신호 크기 A_i^2
2	1.04447	1.06074
3	1.01188	0.94504
6	0.872789	0.946404

표 5. IEEE 802.16e 표준안의 2/3A 부호의 노드 관점과 옛지 관점의 차수 분포
Table 5. Degree distributions from a node and an edge perspective of 2/3A code of IEEE 802.16e standards

표 5. IEEE 802.16e 표준안의 2/3A 부호의 노드 관점과 옛지 관점의 차수 분포
Table 5. Degree distributions from a node and an edge perspective of 2/3A code of IEEE 802.16e standards

노드 관점의 차수 분포			
변수 노드 분포 $L(x)$		체크 노드 분포 $R(x)$	
L_2	0.2917	R_{10}	1
L_3	0.5		
L_6	0.2083		
옛지 관점의 차수 분포			
변수 노드 분포 $L(x)$		체크 노드 분포 $R(x)$	
λ_2	0.175	ρ_{10}	1
λ_3	0.45		
λ_6	0.375		

표 6. IEEE 802.16e 표준안의 2/3A 부호의 유사한 노드 분포의 최적화 예

Table 6. Example of optimized degree distribution from an edge perspective similar to 2/3A code of IEEE 802.16e standards

변수 노드 분포	
L_2	0.34
L_3	0.5267
L_6	0.1333

표 7. 2/3A 부호의 변수 노드 차수 분포에 따른 신호 크기

Table 7. Amplitudes of signals according to degree distribution of 2/3A code

i	A_i
2	1.07966
3	1.02634
6	0.79999

IV. 모의실험 결과

모의실험에서는 부호의 길이가 576이고 채널 환경은 AWGN 채널을 가정하였다. 복호 방법으로는 합-곱 알고리즘을 사용하였다. 그리고 복호 최대 반복횟수는 50번으로 제한하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 부호율이 1/2인 부호와 2/3A 부호에 대하여 앞서 구해진 표 4와 표 7에 따라 전력 할당을 한 모의실험 결과이다.

모의실험 결과 낮은 SNR에서는 부호율이 1/2인 부호에서는 전력 할당 하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서 거의 대동소이한 성능을 보였고, 2/3A 부호에서는 전력 할당을 하는 경우에 조금의 성능 열화가 발생하였음을 알 수 있다. 반면에 SNR이 높아짐에 따라서 전력 할당을 하는 경우에는 두 부호 모두에서 성능이 개선됨을 볼 수 있었다.

앞 절에서 제안된 전력할당 방법은 주어진 부호의 차수 i 인 변수 노드들에 할당된 전력을 노드분포가 최적화된 기준 부호의 차수 i 인 변수 노드들에 할당된 전력과 동일하게 하지는 것으로 요약될 수 있다. 다시 말해, 주어진 부호의 차수 분포가 여러 제약 조건들로 인해 최적화된 기준 부호의 차수 분포와 얼마간 차이를 보이더라도 해당 차수의 노드들에 할당된 전력만큼은 기준 부호와 같도록 할당하는 것이다.

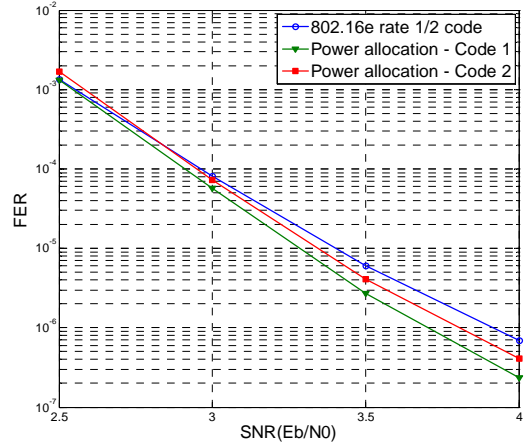


그림 1. 부호율이 1/2인 부호의 전력할당에 따른 성능 그래프
Fig. 1. Performance of the rate 1/2 code using power allocation according to table 4

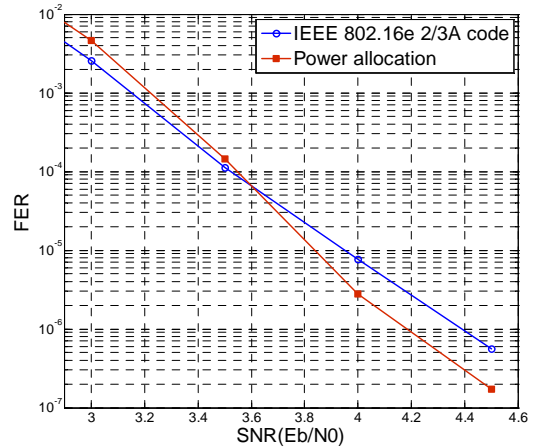


그림 2. 2/3A 부호의 전력할당에 따른 성능 그래프
Fig. 2. Performance of 2/3A code using power allocation according to table 7

현재로서는 제안된 방법에 대한 이론적인 정당성을 보이지 못했다. 다만 모의실험의 결과가 높은 SNR에서 성능향상을 보인 것에 대해서는 다음과 같은 정성적인 설명이 가능할 수 있다.

앞서 부호율이 1/2인 부호와 2/3A 부호에 대하여 얻은 전력할당은 대체적으로 낮은 차수의 변수 노드에 보다 많은 전력이 할당 되어있는 경향을 보인다. 합-곱 알고리즘은 변수 노드에 체크 노드로부터 보내진 메시지가 갱신됨으로써 복호가 수행된다. 이때 높은 SNR에서는 체크 노드로부터 오는 메시지의 상당수가 복호가 성공하는데 도움이 되는 즉, 신뢰도가 높은 메시지가 될 것이다. 이 때 차수가 높

은 변수 노드는 여러 체크 노드와 연결이 되어 있으므로 복호가 성공하는데 도움을 주는 메시지를 많이 받게 될 것이다. 반면에 차수가 낮은 변수 노드는 연결된 체크 노드의 개수가 적기 때문에 그 변수 노드는 복호가 성공하는데 도움이 되는 메시지를 많이 받지 못하게 될 것이다. 이와 같은 이유로 제안된 방법이 높은 SNR에서의 성능 개선을 보인다고 예상된다.

V. 결론

본 논문에서는 밀도진화를 통해 얻어진 부호의 분포와 실제 설계된 부호와의 분포 차이를 변수 노드의 차수에 따라 밀도진화의 분포 면에서 전력을 비균등하게 할당하여 비트의 신뢰도를 조절하는 방안을 제시하였다. 이 방안은 낮은 SNR에서 성능의 열화가 발생하기도 하였지만 비교적 높은 SNR에서는 성능 개선을 할 수 있었다. 모의실험이 비교적 짧은 길이의 LDPC 부호에 국한된 점과 제안된 방법에 대한 이론적인 타당성을 제시하지 못한 점 등은 향후 추가적인 연구를 통해 보완될 것을 기대하며, 본 논문에 대한 조언을 아끼지 않은 익명의 심사자들에게 감사사를 드린다.

참 고 문 헌

[1] R. G. Gallager, "Low density parity check codes." *IRE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-8, pp. 21-28, Jan, 1962.

[2] C. Berrou, A. Glavieux and P. Thitimajshima, "Near shannon limit error-correcting coding and decoding : turbo codes." *Proc. IEEE ICC*, Genova, Switzerland, pp. 1064-1070, May, 1993.

[3] D. J. C. MacKay and R. M. Neal, "Good codes based on very sparse matrices." In Colin Boyd, editor, *Cryptography and Coding. 5th IMA Conference*, No. 1025 in LNCS, pp. 100-111, Springer, Berlin, 1995.

[4] S.Y. Chung, G.D. Forney, T.J. Richardson, R. Urbanke, "On the design of low-density parity-check codes within 0.0045 dB of the Shannon limit," *IEEE Communications Letters*, Vol.5, No.2, Feb. 2001.

[5] T. Richardson, R. Urbanke "The capacity of

low-density parity-check codes under message-passing decoding", *Information Theory, IEEE Transactions on* Volume 47, Issue 2, Feb., 2001.

[6] T. Richardson, M. A. Shokrollahi, R. Urbanke "Design of capacity-approaching irregular low-density parity-check codes", *Information Theory, IEEE Transactions on* Volume 47, Issue 2, Feb., 2001.

[7] M. Döttling, T. Gundler, and A. Seeger, "Incremental redundancy and bit-mapping techniques for high speed downlink packet access," *IEEE GLOBECOM*, pp. 908-912, Dec. 2003.

[8] L. Yan and E. Ryan, "Bit-reliability mapping in LDPC-coded modulation systems," *IEEE Comm. Lett.*, pp. 1-3, Jan. 2005.

[9] "Draft IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands" in *IEEE Standards Draft*, IEEE P802.16e/D8, May 2005.

[10] 주형건, 신동준, 홍송남, "LDPC 부호의 정보 비트와 패리티 비트를 이용한 신뢰성 기반의 비트 매핑 방법," *JCCI 2006*, I-D-7.

[11] <http://lthcwww.epfl.ch/research/ldpcopt/>

[12] A. Eckford, "Fast enough evolution of densities : <http://www.cse.yorku.ca/~aeckford/software/index.html>"

이 기 준 (Kijun Lee)

정회원



2002년 2월 홍익대학교 전자전기공학부 공학사
 2004년 2월 홍익대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 22004년 3월~현재 홍익대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 <관심분야> 디지털통신, 오류정정 부호, LDPC 부호, 반복부호

정 하 봉 (Habong Chung)

중신회원



1981년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사

1985년 12월 미국 University of Southern California, 전기공학과 공학석사

1988년 8월 미국 University of Southern California, 전기공학과 공학박사

1988년 9월~1991년 8월 미국 뉴욕주립대 전기공학과 조교수

1991년 9월~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수

<관심분야> 부호 이론, 조합수학, 시퀀스 설계

임 주 혁 (Juhyuk Im)

준회원



2005년 2월 홍익대학교 전자전기공학부 공학사

2007년 2월 홍익대학교 대학원 전자정보통신공학과 공학석사

2007년 3월~현재 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 모뎀연구팀

<관심분야> 이동통신, 오류정정

부호, LDPC 부호, Turbo 부호

최 은 아 (Eun-A Choi)

정회원



1998년 2월 전북대학교 수학과 이학사

2000년 2월 전북대학교 공과대학원 정보통신공학과 공학석사

2000년 4월~현재 한국전자통신연구원 전파방송연구단 광대역무선멀티미디어연구팀

<관심분야> 위성방송, 디지털통신, 디지털 채널코딩 등

장 대 익 (Dae-Ig Chang)

정회원



1986년 한양대학교 공과대학 전자통신공학과 공학사

1989년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사

1999년 충남대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1990년 2월~현재 한국전자통신연구원 전파방송연구단 광대역무선멀티미디어연구팀 팀장

2005년 3월~현재 과학기술연합대학원대학교(UST) 이동통신 및 디지털 방송공학 전공 교수

1991년 6월~1993년 7월 캐나다 MPR Teltech 연구소 VSAT팀 연구원

<관심분야> 위성통신시스템, 위성방송, 디지털통신, 디지털 변복조/채널코딩 등