

해양 위성 통신을 위한 프로토타이프 기반 블록 저밀도 패리티 검사 부호 설계

전 기준*, 고병훈*, 명세창*, 이성로**, 김광순*

Protograph-Based Block LDPC Code Design for Marine Satellite Communications

Ki Jun Jeon*, Byung Hoon Ko*, Se-chang Myung*, Seong Ro Lee**, Kwang Soon Kim*

요약

본 논문에서는 기존의 해양 위성 방송 통신을 위해 사용되어온 2세대 위성 디지털 방송 표준 (Digital Video Broadcasting Satellite Second Generation : DVB-S2) 의 저밀도 패리티 검사 (Low Density Parity Check : LDPC) 부호 성능 개선과 부호화 및 복호화 복잡도를 줄일 수 있는 프로토타이프 (protograph) 기반 블록 저밀도 패리티 검사 부호를 제안한다. 모의 실험을 통하여 기존의 DVB-S2의 저밀도 패리티 검사 부호 대비 우수한 비트 오류확률 및 프레임오류확률 성능을 갖는 것을 보이며, 또한 부호화 및 복호화 계산 복잡도 분석 및 비교를 통하여 제안하는 부호가 효율적인 부호화 및 복호화 구조를 가짐을 보인다.

Key Words : Marine satellite communication, Low Density Parity Check (LDPC), Protograph, Digital Video Broadcasting Satellite Second Generation (DVB-S2)

ABSTRACT

In this paper, the protograph-based block low density parity check (LDPC) code, which improves the performance and reduces the encoder/decoder complexity than the conventional Digital Video Broadcasting Satellite Second Generation (DVB-S2) LDPC code used for the marine satellite communication, is proposed. The computer simulation results verify that the proposed protograph-based LDPC code has the better performance in both the bit error rate (BER) and the frame error rate (FER) than the conventional DVB-S2 LDPC code. Furthermore, by analyzing the encoding and decoding computational complexity, we show that the protograph-based block LDPC code has the efficient encoder/decoder structure.

I. 서론

최근 들어 IT기술 융합을 통한 주요 기반 산업의

신성장에 대한 수요가 급증하고 있으며, 조선 산업은 그 중 대표적인 산업분야이다. 지상 통신 서비스를 제공받기 어려운 특성 상 해양 위성 통신을 통해서 해양

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-0029321)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0401-14-1009)

♦ First Author : School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, puco201@yonsei.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, ks.kim@yonsei.ac.kr, 종신회원

* 연세대학교 전기전자공학과, {bhko, myungse}@yonsei.ac.kr, 학생회원

** 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-04-142, Received April 28, 2014; Revised July 7, 2014; Accepted July 7, 2014

에서의 수색, 선박 위치 추적, 긴급 의료 지원, 기상 정보 및 고화질 해양지도 사진과 같은 서비스를 제공 받게 된다. 해양 위성 통신의 경우 셀룰러 통신 대비 위성과의 선박 간 원거리 특성상 정보 송수신에 긴 지연 시간을 가지며, 지상과 달리 고도의 재난 및 사고 위험성이 내재되어 있어 더욱더 안전 예방에 주의하여 가능한 재전송 없이 정보 송수신을 신속하게 성공하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 정보 제공에 신뢰도를 높이는 것이 무엇보다 중요하며 여기서 정보 제공 신뢰도란 낮은 수신 신호대잡음비 (Signal-to-Noise Ratio : SNR) 에서도 가능하면 프레임오류 없이 정보 수신에 성공하는 것을 의미한다. 이러한 필요성에 의해서 정보 신뢰도를 높이기 위한 안테나 수신 감도 향상 연구와 더불어 오류 정정 부호 성능 개선을 통한 문제 해결에 대한 연구들이 진행되었고 실제로 2013년 발표한 유럽 연합의 2세대 위성 디지털 방송 표준 (Digital Video Broadcasting Satellite Second Generation : DVB-S2)에서는 1세대 부호보다 더 낮은 부호율 (1/3, 1/5)을 갖는 부호도 지원하여 정보 신뢰도를 높이하고자 하였다.

과거부터 수년 동안 높은 신뢰도의 정보 제공을 위한 많은 부호 연구가 있어 왔으며, 특히 1) 우수한 비트오류확률 (Bit Error Rate : BER) 및 프레임오류확률 (Frame Error Rate : FER) 성능, 2) 병렬 처리 (Parallel processing) 기반 빠른 속도의 효율적인 부호화 및 복호화 가능, 3) 하드웨어 설계 용이와 같은 장점들 때문에 저밀도 패리티 검사 부호 (Low Density Parity Check : LDPC) 에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다 [1-12]. 1962년 Gallager에 의해서 저밀도 패리티 검사 부호 [1] 가 처음으로 제안되었으며 이후 저밀도 패리티 검사 부호 성능 분석 및 설계에 관해서 수많은 연구가 있어왔다. [2]와 [3]에서는 축적기 (Accumulator)를 활용한 반복 축적 (Repeat Accumulate : RA) 부호와 비균일 반복 축적 (Irregular Repeat Accumulate : IRA) 부호를 제안하였다. 또한 [4]에서 다중 엣지 계열 (multi edge type) 저밀도 패리티 검사 부호가 제안되었으며, 이를 시작으로 제한된 서브 형태 (substructure)를 가진 저밀도 패리티 검사 부호 설계에 대한 연구가 진행되었다. 이러한 서브 형태를 가진 저밀도 패리티 검사 부호 중 대표적인 것이 프로토타입 (protograph) 기반 저밀도 패리티 검사 부호이며 이는 초고속 복호기 설계가 가능하고 소수의 베리어블 (variable) 노드와 체크 (check) 노드 그리고 각 노드 간 연결 상태를 나타내는 엣지 (edge) 로 구성된 간단한 기본 그래프 (base

graph) 형태로 표현이 가능한 장점을 지닌다 [5]. 앞서 언급한 RA 부호 및 IRA 부호 역시 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호에 속하며 현재 해양 위성 통신에서 사용되는 DVB-S2 표준 부호 [6] 역시 IRA 계열의 블록 저밀도 패리티 검사 부호로 부호단어 (codeword) 길이 64800 과 16200를 지원한다. 행과 열의 순열 (permutation)을 통해서 블록 사이즈가 360인 순환 행렬 (Quasi-cyclic matrix) 들의 꼴로 표현 가능하며 병렬 처리 기반 Richardson-Urbanke (RU) 부호화 방식 [7]을 이용하여 효율적인 부호화가 가능하다.

[8]에서는 기존의 RA 부호 또는 IRA 부호에 축적기와 천공 (puncturing) 을 활용한 프리코더 (precoder)를 접목시킨 축적 반복 축적 (Accumulate Repeat Accumulate : ARA) 부호를 제안하였으며 이는 프리코딩 (precoding) 이득을 통해 기존 RA 부호 및 IRA 부호 대비 더 좋은 복호 임계값을 가지며 비트오류확률 및 프레임오류확률 성능 역시 더 좋음을 보였다. [9]에서는 ARA 계열 부호가 높은 신호대잡음비에서 연결정도 (degree-2)로 구성된 축적기가 선형 최소 거리 증가 (Linear Minimum Distance Growth : LMDG) 특성을 보존하지 못하여 오류 마루 (error floor) 가 발생하는 단점을 해결하기 위해서 프로토타입에서 연결정도 (degree)-2로 구성된 축적기 내부에 연결선을 추가하여 복호 임계값에서 조금의 손해를 감수하더라도 높은 신호대잡음비에서 오류 마루가 발생하지 않는 축적 반복 제그 축적 (Accumulate Repeat Jagged Accumulate : ARJA) 부호를 제안하였다.

본 논문에서는 기존의 ARA 부호에서 알려진 프리코딩 이득을 통해 성능 개선이 가능하다는 것과 프로토타입 상에서 연결정도 2로 구성된 축적기로부터 발생하는 선형 최소 거리 증가 특성 깨짐 현상을 해결 해주면 오류 마루가 발생하지 않는다는 성질에서 착안하여 코드워드 길이 16200을 갖는 낮은 부호율 (1/3, 1/5)에 대하여 기존의 DVB-S2 표준의 IRA 계열의 저밀도 패리티 검사 부호보다 우수한 비트오류확률 및 프레임오류확률 성능을 가지며 효율적인 부호화 및 복호화가 가능한 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호를 제안한다. 이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호의 프로토타입과 패리티 검사 행렬 생성 방법을 제시한다. III장에서는 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 IV장에서 결론을 내린다.

II. 제안하는 프로토그래프 기반 저밀도 패리티 검사 행렬 부호

본 장에서는 부호율 1/3 그리고 1/5에 해당하는 제안하는 프로토그래프와 이를 기반으로 패리티 검사 행렬을 설계하는 방법에 대해서 설명한다.

2.1 제안하는 프로토그래프

앞선 서론에서 언급했듯이 기존 ARA의 오류 마무 현상을 해결하기 위한 방식은 연결정도 2로 구성된 축적기 내부에 연결선 추가를 통하여 선형 최소 거리 증가 특성을 보존하여 오류 마무 현상을 해결하였으나 이는 부호화 계산 복잡도의 급증을 초래하는 단점을 지닌다. 따라서 본 논문에서는 부호화 계산 복잡도를 기존의 ARA 부호 계열 정도로 유지하면서 오류 마무 현상을 해결하기 위한 방법으로 프로토그래프에서의 연결정도 2로 구성된 축적기 자체의 비율 감소 혹은 축적기 간 연결을 통한 연결정도 2의 비율을 낮추어 선형 최소 거리 증가 특성 개입의 영향을 줄여주어 오류 마무 현상을 해결하고자 한다. 이와 같은 연결정도 2의 비율을 줄여주는 방식을 바탕으로 [4]에서 명시된 밀도 진화 (density evolution : DE) 측정을 이용하여 각 부호율 별 좋은 복호 임계값 (decoding threshold)을 갖는 프로토그래프를 탐색한다. 또한 제안하는 프로토그래프의 프리코딩 파트를 부분 축적기 형태로 대체하여 기존의 축적기 대비 부호화 복잡도를 줄일 수 있도록 하였다. 여기서 부분 축적기라 함은 정보를 분할하여 해당 분할 정보들만을 축적하여 프리코딩된 정보들을 병렬적으로 얻는 형태를 의미하며 이에 대한 자세한 설명은 다음 절에서 다루도록 하겠다. 일반적으로 기본 그래프 단위의 프로토그래프는 소수의 베리어블 노드와 체크 노드 그리고 연결 상태 정도로 구성되기 때문에 프로토그래프 후보군의 개수가 제한적이어서 우수한 복호 임계값을 지니는 프로토그래프를 탐색하는데 큰 어려움이 없는 장점이 있다. 앞서 언급한 방식을 이용하여 충분한 탐색을 통해 얻은 각 부호율 별 프로토그래프는 그림 1과 같다. 여기서 파란색 원은 베리어블 노드, 빨간색 사각형은 체크 노드 그리고 하얀색 원은 천공 베리어블 노드를 의미한다. 가장 왼쪽의 베리어블 노드 (1)가 정보에 해당되며 다른 베리어블 노드들은 정보로부터 생성되는 패리티로써 정보 베리어블 노드 (1)과 연결된 체크 노드 (1)과 천공 베리어블 노드 (2) 사이에 연결된 연결정도 2는 축적기로 구성된 프리코더에 해당되며 또한 나머지 체크 노드와 베리어블 노드 사이에 연결정도 2

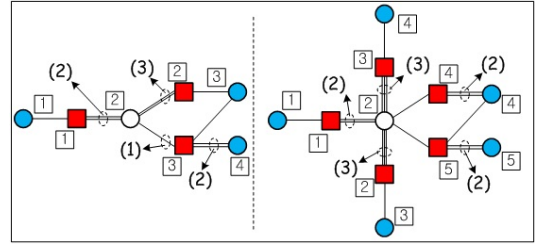


그림 1. 부호율 1/3, 1/5에 대한 제안하는 프로토그래프
Fig. 1. Proposed protographs corresponding to the code rate 1/3 and 1/5

에 해당되는 부분은 축적기로 프리코딩된 패리티를 다시 한 번 축적기를 활용하여 패리티를 생성하는 형태가 된다. 다음 절에서는 본 절에서 제안하는 프로토그래프의 기본그래프로부터 파생 그래프 (derived graph)와 실제 패리티 검사 행렬을 설계하는 방법에 대해서 다루도록 하겠다.

2.2 프로토그래프 기반 패리티 검사 행렬 설계

본 절에서는 프로토그래프로부터 실제 패리티 검사 행렬을 얻는 방법에 대해서 설명한다. 본 논문에서는 패리티 검사 행렬 설계를 위해서 두 단계의 확장 (Lifting) 을 통해서 이루어진다. 1차 확장을 통해서 각 베리어블 노드와 체크 노드를 B_1 개만큼 복사 (copy) 및 순열을 통해서 기본 0 또는 1로 구성되는 기본 그래프의 B_1 배만큼 커진 파생 그래프를 설계한다.

$$H_{adj} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$H_{proto} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

일례로 그림 2와 같은 기본 그래프에 해당되는 프로토그래프는 수식 (1)과 같은 3×4 인접 행렬 (adjacent matrix)로 표현 가능하며 수식 (2)는 수식 (1)로부터 $B_1 (=3)$ 배 확장된 파생 그래프 9×12 행렬로 표시한 한 예이다. 확장 수행 시 인접 행렬의 각 행과 열사이의 연결 정도 조건을 만족하면서 최소 순환 주기 (cycle) 를 최대화 하고 그 순환 주기 개수를 또한 최소화 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 정보과

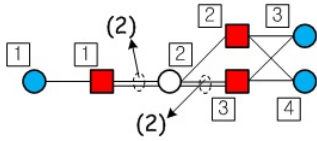


그림 2. 프로토타입 예제
Fig. 2. protograph example

트를 항등 행렬 (identity matrix) 형태로 확장시키고 각 해당 축적기 역할을 수행하는 연결정도 2에 해당 되는 영역의 순환 주기가 최대가 되도록 확장을 수행한 후 나머지 부분들에 대하여 확장을 수행하는 그리디 탐색 (greedy search) 을 통해서 1의 위치를 찾아가도록 하며 [10]에서 제안된 알고리즘을 활용한다. 이때 본 논문에서는 앞선 프리코더의 파트를 부분 축적기로 대체하는 방법은 1차 확장 시 한 연결선 제거를 통하여 쉽게 얻을 수 있으며 이는 위 식 (2)에서 프리코더 부분이 식 (3)과 같은 형태로 되게 된다.

$$H_{acc} = \begin{bmatrix} 1 & & \\ 1 & 1 & \\ & & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

이는 프리코딩 수행 시 2차 확장하는 길이만큼 정보를 분할하여 축적하는 형태가 되며 이는 별도의 비트 단위 축적이 필요 없이 2 차 확장 블록 단위로 축적이 가능하여 이는 기존 축적기 대비 더 적은 계산 복잡도를 갖는 장점이 있다.

2차 확장은 1차 확장을 통해 설계한 프로토타입의 파생 그래프의 해당 1의 위치에 B_2 길이의 순환 행렬을 이용하여 확장을 수행하며 이 역시 정보 및 축적기에 해당되는 영역의 확장을 먼저 수행하고 나머지 영역의 확장을 수행하며, [11]에서 제안된 순환주기 길이 및 개수를 찾는 알고리즘을 활용한다. DVB-S2와 같은 코드워드 길이 16200 및 360 비트 당 블록 병렬 처리를 위해서 부호율 1/3의 경우는 $B_1=15$, $B_2=360$ 으로 1차, 2차 확장을 수행하고 부호율 1/5의 경우는 $B_1=9$, $B_2=360$ 으로 1차, 2차 확장을 수행한다.

제안하는 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호와 DVB-S2의 파생그래프의 DE 축적을 통한 복

표 1. 제안하는 프로토타입 부호와 DVB-S2 부호의 복호 임계값 성능 비교

Table 1. Comparison of the decoding threshold between the proposed protograph code and DVB-S2 code

Code Rate	Proposed	DVB-S2
1/3	-0.0511[dB]	0.083456[dB]
1/5	-0.3945[dB]	-0.04602[dB]

호 임계값은 표 1과 같으며 제안하는 프로토타입 기반 LDPC 부호가 더 우수한 복호 임계값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

III. 모의 실험 결과

본 장에서는 앞서 설계한 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호와 DVB-S2 저밀도 패리티 검사 부호 비트오류확률 및 프레임오류확률 성능 비교와 부호화/복호화 계산 복잡도 비교를 통해서 제안하는 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호의 우수성을 보인다.

표 2는 [12]에서 제안된 반복적 부호법 (iterative encoding)을 활용하여 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호화를 수행하는 것과 RU 방식을 이용한 DVB-S2 저밀도 패리티 검사 부호화 수행 시 요구되는 계산 복잡도와 합곱 알고리즘 (Sum Product Algorithm : SPA) 기반 복호 수행 시 요구되는 계산 복잡도를 분석한 것으로 여기서 계산 복잡도는 배타적 논리 합 (XOR) 연산의 수를 의미하며 이는 패리티 검사 행렬의 1의 개수에 의해서 정해진다. 또한 표 2의 복잡도 단위는 B_2 비트 병렬 처리를 기본 단위로 하여 명시하였으며 부호화 계산 복잡도 (Encoding Computational Complexity : ECC)와 복호화 계산 복잡도 (Decoding Computational Complexity : DCC)로 나누어 표기해 놓았다. DVB-S2 저밀도 패리티 검사 부호 대비 제안하는 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호가 1의 밀도가 좀 더 높기 때문에 복호 시 계산 복잡도가 약간 증가하긴 하지만 부호화 과정에서는 오히려 더 적은 복잡도를 가지는 것을 확인할 수 있으며 이는 축적기 역할을 하는 1의 비중이 DVB-S2 저밀도 패리티 검사 부호 대비 프로토타입 기반 저밀도 패리티 검사 부호가 더 높으며 축적기 구조적 특성 상 보다 더 간단히 연산 처리를 수행할 수 있기 때문이다.

그림 3은 송신단에서 2진 위상 편이 방식 (Binary

표 2. 제안하는 프로토타입 패리티 검사 부호와 DVB-S2 부호의 계산 복잡도 비교

Table 2. Comparison of the computational complexity between the proposed protograph code and DVB-S2 code

Code Rate	Proposed		DVB-S2	
	ECC	DCC	ECC	DCC
1/3	134	164	160	150
1/5	116	162	145	135

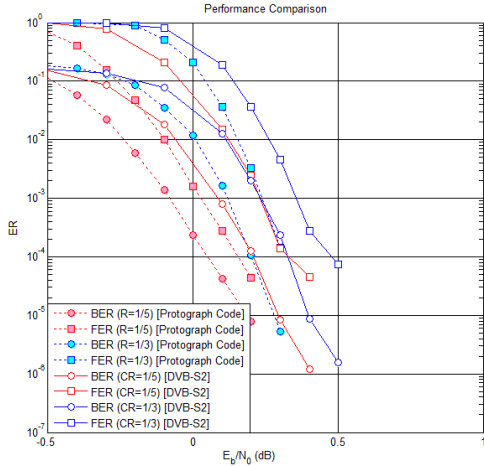


그림 3. 제안하는 프로토타이프 부호와 DVB-S2 부호의 비트오류확률/프레임오류확률 성능 비교
 Fig. 3. BER/FER performance comparison between the proposed protograph code and DVB-S2 code

Phase Shift Keying : BPSK 변조를 수행하고 수신단에서 합곱 알고리즘 기반 최대 반복 횟수 100번 하에서 복호 수행 시 얻어지는 비트오류확률 및 프레임오류확률에 대한 모의 실험 결과로 프레임 오류 개수 200개에서의 성능 그래프이다. 제안하는 프로토타이프 기반 저밀도 패리티 검사 부호가 기존의 DVB-S2 저밀도 패리티 검사 부호 대비 더 좋은 성능을 얻는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 천공과 축적기를 활용한 프리코딩 이득을 통해 우수한 복호 임계값을 가지기 때문이다. 또한 연결정도-2의 비율이 DVB-S2 대비 더 낮고 1의 밀도가 DVB-S2 보다 더 높기 때문에 오류 마무에도 보다 더 강한 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 해양 위성 통신으로 사용되는 기존의 DVB-S2의 성능 개선을 위한 프로토타이프 기반 저밀도 패리티 검사 부호를 제안하였다. 모의 실험을 통해서 기존의 DVB-S2 대비 제안하는 프로토타이프 기반 저밀도 패리티 검사 부호의 우수한 성능을 확인할 수 있었으며 부호화/복호화에 수반되는 계산 복잡도 분석 및 비교를 통해 제안하는 저밀도 패리티 검사 부호가 효율적인 부호화/복호화 구조를 지님을 보였다. 향후 연구로 본 연구의 결과들로부터 우수한 성능을 가지며 효율적인 부호화/복호화 구조를 가지는 다양한 부호율에 대한 새로운 저밀도 패리티 검사 부호 패밀리에 대한 연구를 진행할 계획이다.

References

- [1] R. G. Gallager, *Low Density Parity Check Codes.*, MA : MIT Press, 1963.
- [2] D. Divsalar, H. Jin, and R. McEliece, "Coding theorems for Turbo-like codes," in *Proc. Annual Allerton Conf. (AAC 1998)*, pp. 201-210, Illinois, USA, Sept. 1998.
- [3] H. Jin, A. Khandekar, and R. McEliece, "Irregular repeat accumulate codes," in *Proc. 2nd Int. Symp. Turbo Codes (ISTC 2000)*, pp. 1-8, Brest, France, 2000.
- [4] T. Richardson and R. Urbanke, "Multi-edge type LDPC Codes," preprint. [Online]. Available : <http://lthcwww.ep.ch/papers.mulie.dge.ps>.
- [5] J. Thorpe, "Low density parity check (LDPC) codes constructed from protographs," JPL IPN Progress Report 42-154, Aug. 2003.
- [6] Digital Video Broadcasting (DVB), "Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)," ETSI EN 302 307 v1.3.1, Mar. 2013.
- [7] T. Richardson and R. L. Urbanke, "Efficient encoding of low-density parity-check codes," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 47, no. 2, pp. 638-656, Feb. 2001.
- [8] A. Abbasfar, D. Divsalar, and K. Yao, "Accumulate repeat accumulate codes," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 55, no. 4, pp. 692-702, Apr. 2007.
- [9] D. Divsalar, C. Jones, and J. Thorpe, "Protograph based LDPC codes with minimum distance linearly growing with block size," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1152-1156, St. Louis, USA, Nov. 2005.
- [10] S. H. Lee, K. S. Kim, Y. H. Kim, and J. Y. Ahn, "A cycle algorithm based on a message-passing for the design of good LDPC codes," *IEICE Trans. Fund. Elec. Comm. Comp. Sci.*, vol. E88-A, pp. 1599-1604, Jun. 2005.
- [11] S. C. Myung, K. J. Jeon, B. H. Ko, K. J. Kim,

and K. S. Kim, "A cycle search algorithm for design of block LDPC codes," in *Proc. KICS Int. Conf. Comm. (ICC 2014)*, pp. 1-2, Yongpyong, Korea, Jan. 2014.

- [12] K. Andrews, S. Dolinar, and J. Thorpe, "Encoders for block circulant LDPC codes," in *Proc. Int. Symp. Inf. Theory (ISIT 2005)*, pp. 2300-2304, Adelaide, Australia, Sept. 2005.

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
 1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

전 기 준 (Ki Jun Jeon)



2008년 2월 : 경희대학교 전기전자공학과 (공학사)
 2010년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2010년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 <관심분야> 정보이론, 채널 코딩, 애드혹 네트워크

김 광 순 (Kwang Soon Kim)



1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1999년 3월~2000년 3월 : Dept.

ECE, UC San Diego, 박사후연구원

2000년 4월~2004년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

2004년 3월~2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 조교수

2009년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학부 부교수
 <관심분야> 통신이론, 변복조 방식, 다중사용자/다중셀 다중안테나 시스템, 애드혹 및 이중 셀룰러 네트워크의 용량 및 계층간 최적화

고 병 훈 (Byung Hoon Ko)



2005년 8월 : 연세대학교 전기전자공학부 졸업 (공학사)
 2007년 2월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석박사통합과정
 <관심분야> 애드혹 네트워크, 계층 간 최적화

명 세 창 (Se-chang Myung)



2013년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 공학사
 2013년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학부 석사 과정
 <관심분야> 통신이론, LDPC, 채널 코딩