(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2020 년 9 월 10 일 (10.09.2020)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2020/179966 A1

(51) 국제특허분류:
H03M 13/43 (2006.01) *H03M 13/00* (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2019/004753

(22) 국제출원일: 2019 년 4 월 19 일 (19.04.2019)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2019-0026387 2019 년 3 월 7 일 (07.03.2019) KR

(71) 출원인: 한양대학교 산학협력단 (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY) [KR/KR]; 04763 서울시 성동구 왕십리로 222, Seoul (KR).

(72) 발명자: 최창열 (CHOI, Chang Ryoul); 07030 서울시 동작구 사당로2가길 173, 206호., Seoul (KR). 정제창 (JEONG, Je Chang); 06291 서울시 강남구 삼성로 151, 12동 1102호, Seoul (KR).

(74) 대리인: 특허법인 이상 (E-SANG PATENT & TRADEMARK LAW FIRM); 06747 서울시 서초구 바우뫼로 188, 3층, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

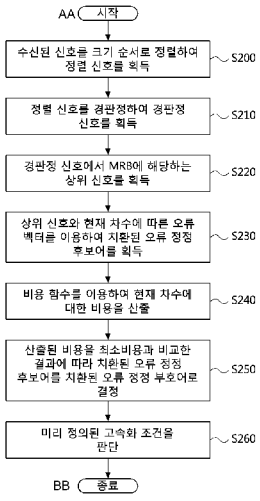
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) **Title:** METHOD AND APPARATUS FOR FAST DECODING OF LINEAR CODE ON BASIS OF SOFT DECISION

(54) **발명의 명칭:** 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법 및 장치



S200 ... Arrange received signals in order of magnitude so as to obtain alignment signals
S210 ... Perform hard decision on alignment signals so as to obtain hard decision signals
S220 ... Obtain upper signals corresponding to MRB from hard decision signals
S230 ... Obtain permuted and corrected codeword candidate by using upper signals and error vector according to current order
S240 ... Calculate cost for current order by using cost function
S250 ... Determine permuted and corrected codeword candidate as permuted and corrected codeword according to result of comparing calculated cost with minimum cost
S260 ... Determine pre-defined high-speed condition
AA ... Start
BB ... End

(57) **Abstract:** Disclosed are a method and an apparatus for fast decoding of a linear code on the basis of soft decision. The method for fast decoding of a linear code on the basis of soft decision comprises the steps of: arranging received signals in order of magnitude so as to obtain alignment signals; performing hard decision on the alignment signals so as to obtain hard decision signals; obtaining upper signals corresponding to the most reliable bases (MRB) from the hard decision signals; obtaining a permuted and corrected codeword candidate by using the upper signals and an error vector according to the current order; calculating a cost for the current order by using a cost function; determining the permuted and corrected codeword candidate as a permuted and corrected codeword according to a result of comparing the calculated cost with a minimum cost; and determining a pre-defined high-speed condition.

(57) **요약서:** 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법 및 장치가 개시된다. 상기 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법은, 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계, 상기 정렬 신호를 경판정(hard decision) 하여 경판정 신호를 획득하는 단계, 상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를 획득하는 단계, 상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계, 비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계, 산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계 및 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

WO 2020/179966 A1

명세서

발명의 명칭: 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법 및 장치

기술분야

[1] 본 발명은 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법 및 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 연판정 기반의 선형 부호 복호화 방법에서 일부 연산 과정을 생략함으로써 고속으로 부호화하는 기술에 관한 것이다.

배경기술

[2] 디지털 통신에서 판정은 복호화기 직전에 있는 복조기에서 양자화에 따른 임계 판정(threshold decision)을 의미한다. 이때, 판정 방법에는 경판정(Hard Decision)과 연판정(Soft Decision)이 있다.

[3] 경판정은 복조기에 의한 파형 출력이 2진 신호(예를 들면 0 또는 1)로만 복조된 후 복호화되는 것을 의미한다. 반면, 연판정은 경판정과 같이 확고한 정수 판정을 하는 대신에 복조기 출력이 2 단계 이상의 양자화된 신호로 복조된 후 복호화되는 것을 의미한다.

[4] 경판정은 수신기에서 돌이킬 수 없는 정보 손실을 유발할 수 있으나, 더 적은 데이터 처리가 요구되고 구현이 단순하다. 반면, 연판정은 더 많은 데이터 처리가 요구되고 구현이 복잡하지만 경판정보다 우수한 복호 성능을 갖기 때문에 많이 사용된다.

[5] 한편, 연판정된 신호를 원래의 신호로 복호화하는 과정은 연판정된 신호의 조건부 확률 또는 우도(likelihood) 등의 정보 조합을 통해 수행된다. 이러한 연판정 기반 복호화 방법 중 하나인 OSD(Ordered statistics decoder)는 최대우도(ML, maximum likelihood)에 거의 근접한 성능을 나타내고 있어 많은 관심을 받고 있다.

[6] 그러나, OSD는 모든 부호어 중에서 수신된 데이터와 가장 유사한 부호어를 찾는 방법과 유사하기 때문에 모든 조합을 다 조사하는 과정에 따른 연산 복잡도가 매우 높다. 따라서, 연산 복잡도를 낮추면서 복호화 성능을 높게 유지할 수 있는 방안이 필요한 실정이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[7] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법을 제공하는 데 있다.

[8] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 다른 목적은, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치를 제공하는 데 있다.

과제 해결 수단

[9] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속

복호화하는 방법을 제공한다.

[10] 상기 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법은, 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계, 상기 정렬 신호를 경판정(hard decision)하여 경판정 신호를 획득하는 단계, 상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를 획득하는 단계, 상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계, 비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계, 산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계 및 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

[11] 상기 오류 정정 후보어를 획득하는 단계는, 상기 상위 신호와 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 치환된 생성행렬과 곱하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[12] 상기 비용함수는, 상기 정렬 신호에서, 상기 치환된 오류 정정 후보어와 상기 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의될 수 있다.

[13] 상기 오류 벡터는, 상기 MRB와 동일한 길이를 갖고, 해밍 무게(hamming weight)가 상기 현재 차수인 벡터로 정의될 수 있다.

[14] 상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는, 상기 MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서 크기가 작은 성분들을 더하여 고속화 임계값을 산출하는 단계 및 산출된 고속화 임계값을 상기 최소 비용과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[15] 상기 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 고속화 임계값이 상기 최소비용보다 작은 경우에 한하여, 상기 현재 차수의 다음 차수에 대하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[16] 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계는, 상기 크기가 작은 성분들의 합에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수를 더하여 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[17] 상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는, 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[18] 상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 해밍 거리가 상기 미리 설정된 제1 임계값보다 크면, 상기 오류 벡터에 대한 연산을 생략하고, 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 변경하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[19] 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에, 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제2 임계값과

비교하는 단계 및 상기 해밍 거리가 상기 제2 임계값보다 작으면, 상기 비용을 산출하는 단계를 생략하고 곧바로 상기 치환된 오류 정정 후보어를 상기 치환된 오류 정정 부호어로 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[20] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 측면은, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치를 제공한다.

[21] 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치는, 적어도 하나의 프로세서(processor) 및 상기 적어도 하나의 프로세서가 적어도 하나의 단계를 수행하도록 지시하는 명령어들(instructions)을 저장하는 메모리(memory)를 포함할 수 있다.

[22] 상기 적어도 하나의 단계는, 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계, 상기 정렬 신호를 경판정(hard decision)하여 경판정 신호를 획득하는 단계, 상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를 획득하는 단계, 상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계, 비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계, 산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계 및 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

[23] 상기 오류 정정 후보어를 획득하는 단계는, 상기 상위 신호와 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 치환된 생성행렬과 곱하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[24] 상기 비용함수는, 상기 정렬 신호에서, 상기 치환된 오류 정정 후보어와 상기 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의될 수 있다.

[25] 상기 오류 벡터는, 상기 MRB와 동일한 길이를 갖고, 해밍 무게(hamming weight)가 상기 현재 차수인 벡터로 정의될 수 있다.

[26] 상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는, 상기 MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서 크기가 작은 성분들을 더하여 고속화 임계값을 산출하는 단계 및 산출된 고속화 임계값을 상기 최소 비용과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[27] 상기 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 고속화 임계값이 상기 최소비용보다 작은 경우에 한하여, 상기 현재 차수의 다음 차수에 대하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[28] 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계는, 상기 크기가 작은 성분들의 합에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수를 더하여 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[29] 상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는, 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과

비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[30] 상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 해밍 거리가 상기 미리 설정된 제1 임계값보다 크면, 상기 오류 벡터에 대한 연산을 생략하고, 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 변경하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[31] 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에, 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제2 임계값과 비교하는 단계 및 상기 해밍 거리가 상기 제2 임계값보다 작으면, 상기 비용을 산출하는 단계를 생략하고 곧바로 상기 치환된 오류 정정 후보어를 상기 치환된 오류 정정 부호어로 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[32] 상기와 같은 본 발명에 따른 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법 및 장치를 이용할 경우에는 OSD에 따른 복호화 성능을 최대한 유지하면서 연산 복잡도를 낮출 수 있다.

도면의 간단한 설명

[33] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 선형 부호화의 개념을 설명하기 위한 예시도이다.

[34] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 OSD(ordered statistics decoder)의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[35] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 PNC(probabilistic necessary conditions)의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[36] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 PSC(probabilistic sufficient conditions)의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[37] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법에 대한 흐름도이다.

[38] 도 6a 내지 도 6j는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들의 복호화 성능과 속도를 각 차수에 대하여 분석한 그래프이다.

[39] 도 7a 내지 도 7d는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들 중에서 방법 2에 따른 복호화 성능과 속도를 분석한 그래프이다.

[40] 도 8a 내지 도 8h는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들의 복호화 성능과 속도를 다른 실험조건에서 비교한 그래프이다.

[41] 도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들 중에서 방법 2에 따른 복호화 성능과 속도를 다른 실험조건에서 분석한 그래프이다.

[42] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치에 대한 하드웨어 구성도이다.

발명의 실시를 위한 형태

[43] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바,

특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[44] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[45] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[46] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[47] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[48] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[49]

[50] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 선형 부호화의 개념을 설명하기 위한 예시도이다.

[51] 블록 부호화(Block coding)는 데이터를 일정한 블록 단위로 묶고, 블록마다 부호화와 복호화를 수행하는 코딩 방식을 의미할 수 있다. 선형 부호화는 부호어

집합이 선형 벡터공간을 형성하는(또는 선형 조건을 만족하는) 부호를 의미할 수 있다.

[52] 도 1을 참조하면, 일반적인 선형 부호화 과정은 생성행렬(G)을 이용하여 표현될 수 있다. 전송하고자 하는 메시지 m을 1Xk의 벡터로 표현하면, 메시지 m에 kXn의 크기를 갖는 생성행렬을 곱하여 1Xn의 벡터로 표현되는 부호어 x를 도출할 수 있다. 이하에서, k는 차원(또는 생성행렬의 랭크, rank)을 의미할 수 있고, n은 부호어의 길이를 의미할 수 있다.

[53] 여기서 부호어를 생성하기 위한 생성행렬은 사용하는 부호어에 따라 결정될 수 있으며, 일반적으로 부호어간 최소거리가 클수록 오류 정정 능력이 높으므로 유리하다. 여기서 최소 거리는 부호어들 사이의 해밍 거리(Hamming Distance) 중에서 가장 작은 거리를 의미할 수 있다. 또한, 해밍 거리는 두 부호어 사이의 서로 다른 심볼의 개수를 의미할 수 있다.

[54] 상기 과정을 통해 선형 부호화된 부호어는 유무선 통신 시스템의 전송측에서 수신측으로 전송되며, 수신측에서는 복조기(Demodulator)를 통해 원래 파형을 복구하고, 복호화기(Decoder)를 이용하여 복구된 파형에 섞인 오류를 검출하고 유효한 부호어(또는 데이터 심볼)를 복원할 수 있다.

[55] 이하에서는 이러한 개념들을 기초로 하여 본 발명의 일 실시예에 따른 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법 및 장치를 설명한다.

[56] 또한, 이하에서는 설명의 편의를 위해 전송 채널은 AWGN(Additive white Gaussian noise)으로 하고, 변조 방식은 BPSK(Binary Phase Shift Keying)를 사용하는 것으로 전제하여 설명하지만 채널이나 변조 방식이 한정되는 것으로 해석되어서는 안된다.

[57]

[58] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 OSD(ordered statistics decoder)의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[59] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 OSD에서는, 먼저 복호화기에서 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득할 수 있다(S100). 예를 들어, $r = (r_0, r_1, ..., r_{n-1})$를 수신된 신호라고 할 때(여기서 n은 부호어의 길이일 수 있음), 수신된 신호의 개별 성분($r_0, r_1, ..., r_{n-1}$)에 대하여 절대값을 취하고 절대값의 크기 순서대로 정렬하여 정렬 신호 $y = (y_0, y_1, ..., y_{n-1})$를 획득할 수 있다(이하에서 정렬 신호는 y로 지칭될 수 있음). 여기서 정렬 순서는 내림차순으로 정렬할 수 있으나 반드시 그에 한정되는 것이 아니며 반드시 정확하게 크기 순서를 따라 정렬해야 되는 것은 아니다.

[60] 단계 S100 다음으로, 정렬 신호(y)를 경판정하여 경판정 신호를 획득할 수 있다(S110). 예를 들어 정렬 신호(y)를 경판정하여 경판정 신호 $Y = (Y_0, Y_1, ..., Y_{n-1})$를 획득할 수 있다(이하에서 경판정 신호는 Y로 지칭될 수 있음). 경판정 신호(Y)가 획득되면, 경판정 신호에서 MRB(Most Reliable Bases)에 해당하는 상위 신호를 획득할 수 있다(S120, 이하에서 상위 신호는 α로 지칭될 수 있음).

구체적으로 경판정 신호에서 크기가 큰 상위 k 개(이때 k는 도 1에서 설명한 차원일 수 있음)의 성분을 MRB로, 나머지 n-k개의 성분을 LRB로 구분하고, 상위 k개의 성분을 갖는 상위 신호(α)를 획득할 수 있다.

[61] 단계 S120 다음으로, 상위 신호(α)와 차수(order, 이하 o로 표기)에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득할 수 있다(S130). 구체적으로 예를 들어 임의의 차수 o에 대한 오류 벡터를 k_o 라 하고, 치환된 생성 행렬을 G'로 하면, 임의의 차수 o에 대하여 치환된 오류 정정 후보어(Eo)는 다음의 수학식 1과 같이 정의할 수 있다.

[62] [수식1]

$$(\alpha + k_0) \cdot G' = \alpha G' + k_0 G' = E_o$$

[63] 상기 수학식 1을 참조하면, 치환된 오류 정정 후보어(E_o)는 상위 신호(α)와 차수에 따른 오류 벡터(k_o)를 치환된 생성 행렬(G')과 곱하여 획득될 수 있다. 좀 더 상세한 표현으로, 치환된 오류 정정 후보어(E_o)는 상위 신호(α)와 차수에 따른 오류 벡터(k_o)를 더한 값을 치환된 생성 행렬(G')과 곱하여 획득하거나, 상위 신호(α)를 치환된 생성 행렬 (G') 과 곱한 값과 오류 벡터(k_o)를 치환된 생성 행렬(G')와 곱한 값의 합으로 획득될 수 있다. 이때, 치환된 생성 행렬은 도 1에서 설명한 생성 행렬(G)의 열(Column)을 앞선 정렬 신호(y)를 생성한 정렬 순서와 동일한 순서로 치환하고, 가우스 소거(Gaussian elimination)를 수행하여 획득될 수 있다. 또한, 치환된 오류 정정 후보어는 치환된 생성 행렬의 치환 순서에 따라 치환된 순서를 갖고, 오류가 정정된 부호어(corrected codeword)의 후보(candidate)로 정의될 수 있다. 이때, 치환된 생성 행렬(G')은 다음의 수학식 2와 같은 형태를 가질 수 있다.

[64] [수식2]

$$G' = [I \;\; P]$$

[65] 수학식 2를 참조하면, I는 k X k의 크기를 갖는 항등 행렬(identity matrix)이고, P는 k × (n-k) 의 크기를 갖는 행렬일 수 있다. 여기서 수학식 2와 같은 형태가 되지 않는 경우 도 1에 따른 생성 행렬(G)의 열을 적절히 치환하여 수학식 2에 따른 형태를 도출할 수 있고, 이때 치환된 생성 행렬(G')을 도출하기 위한 치환 순서와 정렬 신호의 순서는 동일하여야 할 수 있다.

[66] 한편, 오류 벡터는 오류가 발생한 것으로 예측되는 성분을 지시하는 벡터(또는 정렬 신호의 MRB에 해당하는 성분들 중에서 치환된 오류 정정 후보어와 경판정 신호가 다를 것으로 예측되는 성분을 지시하는 벡터)로 해석될 수 있는데, 구체적으로 오류 벡터는 MRB와 동일한 길이(k의 길이)를 갖고, 해밍 무게(부호어 내에서 0이 아닌 성분의 갯수)가 현재 차수(o)인 벡터로 정의될 수 있다. 예를 들어, 차수 0인 경우 오류 벡터(k_0)는 해밍 무게가 0이므로 다음의 수학식 3과 같이 도출될 수 있다.

[67] [수식3]

$$k_0 = (0, 0, 0, \ldots, 0)$$

[68] 즉, 차수가 0인 경우에 따른 오류 벡터는 k개의 성분이 모두 0인 벡터일 수 있다. 또한, 차수가 1인 경우에 대한 오류 벡터는 다음의 수학식 4와 같이 도출될 수 있다.

[69] [수식4]

$$k_1 = (0, 1, 0, \ldots, 0)$$

[70] 수학식 4에서 값이 1인 성분의 위치(또는, 오류가 발생한 것으로 예측되는 성분의 위치)는 달라질 수 있다. 즉, 선정되는 위치에 따라 k_1은 총 k개가 도출될 수 있다. 그 밖에도 차수가 2인 경우에 대한 오류 벡터(k_2)는 MRB 중에서 2개의 위치를 선정하고 선정된 위치에 대한 성분값만 1(또는 0이 아닌 값)을 갖고 나머지 성분값은 0으로 하여 도출될 수 있다.

[71] 치환된 오류 정정 후보어는, 순서가 치환된 생성 행렬과 같이 치환되고 오류 정정된 부호어(permuted and corrected codeword)가 될 가능성이 있는 후보로서, 오류 벡터에 따른 비용함수를 통해 평가될 수 있다. 예를 들어, 오류 벡터가 수학식 4와 같이 j번째 성분에 1을 갖는 벡터(즉, 정렬 신호의 MRB에 해당하는 성분들 중 j번째 성분에서 치환된 오류 정정 후보어와 경판정 신호가 다를 것으로 예측하는 경우)라면, 비용함수는 다음의 수학식 5와 같의 정의할 수 있다.

[72] [수식5]

$$s' = |y_j| + \sum_{\substack{i=k \\ Y_i \neq E_i}}^{n-1} |y_i|$$

[73] 상기 수학식 5를 참조하면, 비용함수는 정렬 신호(y)에서 j번째 성분의 크기와, 나머지 n-k개의 LRB에 해당하는 성분들 중에서, 치환된 오류 정정 후보어(E_i)와 경판정 신호(Y_i)가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 더한 값으로 정의할 수 있다. 또한, 수학식 3과 같이 모든 성분이 0인 오류 벡터에 대한 비용함수는 오류 벡터에 의해 지시되는 성분이 없으므로, 다음의 수학식 6과 같이 정의할 수 있다.

[74] [수식6]

$$s = \sum_{\substack{i=k \\ Y_i \neq E_i}}^{n-1} |y_i|$$

[75] 구체적으로 수학식 6을 참조하면, 수학식 3에 따라 차수가 0인 오류 벡터에 대한 비용 함수는, n-k개의 LRB에 해당하는 성분들 중에서 치환된 오류 정정

후보어와 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 더한 값으로 정의될 수 있다.

[76] 수학식 5와 수학식 6에서와 같은 방식으로 차수가 2인 오류 벡터에 의해 지시되는 0이 아닌 성분이 1번째 성분과 m번째 성분이면, 비용함수는 다음의 수학식 7과 같이 정의할 수 있다.

[77] [수식7]

$$s' = |y_l| + |y_m| + \sum_{\substack{i=k \\ Y_i \neq E_i}}^{n-1} |y_i|$$

[78] 즉, 수학식 5 내지 7을 종합하면, 비용 함수는 정렬 신호에서, 치환된 오류 정정 후보어와 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의할 수 있다.

[79] 따라서, 단계 S130 이후에, 비용 함수를 이용하여 현재 차수에 대한 비용을 산출할 수 있다(S140). 여기서 현재 차수는 0부터 시작하여 단계 S130을 거칠때마다 하나씩 증가하는 변수일 수 있다.

[80] 단계 S140에서 현재 차수에 대한 비용이 산출되면, 산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정할 수 있다(S150). 여기서 최소 비용은 차수 0부터 현재 차수까지 산출된 비용 중에서 최소값을 의미할 수 있다. 단계 S150을 더 구체적으로 설명하면, 산출된 비용이 최소 비용보다 작으면, 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정할 수 있다. 또한, 단계 S150에서 산출된 비용이 최소 비용보다 작으면, 산출된 비용을 최소 비용으로 갱신하는 단계를 포함할 수 있다. 한편, 차수가 0인 경우에는 단계 S140에 따라 산출된 비용을 최소 비용으로 결정하고, 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정할 수 있다.

[81] 단계 S150 이후에, 현재 차수에서 변경 가능한 오류 벡터가 존재하는지 판단(S160)하고, 현재 차수에서 변경 가능한 오류 벡터가 존재하면 오류 벡터를 변경하여(S180) 다시 단계 S130에 따른 과정부터 재수행할 수 있다. 여기서 오류 벡터의 변경은 오류 벡터에서 0이 아닌 성분(또는 1인 성분)의 위치를 달리함으로써 수행될 수 있다.

[82] 단계 S160 이후에, 현재 차수가 미리 설정된 최대 차수에 도달되었는지 판단하고(S170), 최대 차수에 도달하였다면 부호화 과정을 종료할 수 있다. 그러나, 최대 차수에 도달하지 않았다면 현재 차수를 하나 증가시키고(S190), 단계 S130부터 다시 수행할 수 있다. 여기서 최대 차수는 사용자에 의해 입력될 수 있는 값으로서, 일반적으로는 다음의 수학식 8에 의해 도출될 수 있다.

[83] [수식8]

$$\min(k, \left\lfloor \frac{d}{4} \right\rfloor)$$

[84] 상기 수학식 8에서, d는 부호어의 최소 거리를 의미할 수 있고, k는 차원을 의미할 수 있다.

[85]

[86] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 PNC(probabilistic necessary conditions)의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[87] 도 2에서 설명한 OSD는 미리 설정된 최대 차수까지 계속해서 비용함수를 산출하고, 치환된 오류 정정 후보어를 도출하기 때문에 연산 복잡도가 높고, 불필요한 연산이 반복해서 수행되는 문제가 있다.

[88] 이러한 연산 복잡도를 낮추기 위하여 최대 차수에 도달하지 않더라도 이후 차수에 대한 연산을 생략함으로써 복호화를 고속화하는 방법을 고려할 수 있다. 이때, PNC(probabilistic necessary conditions)는 차수를 올려도 최소 비용보다 더 낮은 비용이 존재할 가능성이 없다면, 지금까지 조사된 결과만으로 오류 정정 부호어를 결정하는 방법이다.

[89] 도 3을 참조하면, PNC는 도 2에 따른 단계 S160까지를 수행하고, 최대 차수에 도달하였는지 판단(S170)하는 대신, 단계 S165에 따른 판단을 먼저 수행할 수 있다. 즉, 단계 S165에서는, MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서, 크기가 작은 성분들의 합(이하에서 고속화 임계값으로 지칭할 수 있음)을 현재 차수까지 결정된 최소비용과 비교할 수 있다(S165). 여기서 크기가 작은 성분들은, 현재 차수의 다음 차수에 대한 비용함수 연산에 해당하는 개수를 고려해야 하므로, 현재 차수보다 하나 더 많은 개수만큼 선정되어 서로 더해질 수 있다.

[90] 예를 들어, 현재 차수가 o이면, 다음 차수 o+1에 대한 연산을 수행할지 결정하기 위한 고속화 임계값(S_{PNC})은 다음의 수학식 9와 같이 정의할 수 있다.

[91] [수식9]

$$S_{PNC(o+1)} = \sum_{j=k-o-1}^{k-1} |y_j|$$

[92] 수학식 9를 참조하면, 정렬 신호가 내림차순으로 정렬되었다고 할 때, 정렬 신호의 MRB에 해당하는 성분들 중 마지막 성분인 k-1번째 성분부터 거꾸로 o+1개의 성분을 더함으로써 고속화 임계값(S_{PNC})가 결정될 수 있다. 반면에 정렬 신호가 오름차순으로 정렬되었다면, j=0부터 j=o 까지 더해질 수 있다.

[93] 단계 S165에서 비교한 결과, 크기가 작은 성분들의 합이 최소비용보다 크다면 이후에 차수들은 현재 차수에 따른 최소비용보다 클 수 밖에 없기 때문에 오류 정정 부호어가 될 가능성이 없거나 매우 낮다. 따라서, 단계 S165에서 비교한

결과 크기가 작은 성분들의 합이 최소비용보다 크다면 차수를 증가(S190)시켜 반복 연산하는 과정(S130~S150)을 생략하고, 복호화를 종료할 수 있다.

[94]

[95] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 PSC(probabilistic sufficient conditions)의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[96] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 도 2에 따른 OSD를 개선하여 연산량을 줄이는 또다른 실시예(PSC, probabilistic sufficient conditions)를 제공할 수 있다.

[97] 도 4를 참조하면, PSC는 도 2에 따른 단계 S130을 수행한 후 단계 S140 대신에 단계 S135에 따른 과정을 수행할 수 있다. 즉, 단계 S135에서는 경판정 신호(Y)와 현재 차수(o)에 따른 치환된 오류 정정 후보어(E_o) 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하고(S135) 비교 결과에 따라 현재 오류 벡터에 대한 연산들(S140~S150)을 생략하고 현재 차수의 오류 벡터를 변경(S180)하여 오류 정정 후보를 획득(S130)할 수 있다.

[98] 구체적으로, 경판정 신호와 치환된 오류 정정 부호어 사이의 해밍 거리가 미리 설정된 제1 임계값보다 크면(또는 크거나 같으면), 상기 치환된 오류 정정 부호는 실제 오류 정정 부호어가 될 가능성이 낮으므로 현재 오류 벡터에 대한 연산들을 생략하고 현재 차수의 다른 후보어를 연산할 수 있다.

[99]

[100] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법에 대한 흐름도이다.

[101] 도 5를 참조하면, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법은, 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계(S200), 상기 정렬 신호를 경판정(hard decision)하여 경판정 신호를 획득하는 단계(S210), 상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를 획득하는 단계(S220), 상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계(S230), 비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계(S240), 산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계(S250) 및 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계(S260)를 포함할 수 있다.

[102] 상기 오류 정정 후보어를 획득하는 단계(S230)는, 상기 상위 신호와 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 치환된 생성행렬과 곱하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 치환된 오류 정정 후보어는 앞선 수학식 1에 따라 획득될 수 있다.

[103] 상기 비용함수는, 상기 정렬 신호에서, 상기 치환된 오류 정정 후보어와 상기 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 비용함수는 수학식 5 내지 7을

참조할 수 있다.

[104] 상기 오류 벡터는, 상기 MRB와 동일한 길이를 갖고, 해밍 무게(hamming weight)가 상기 현재 차수인 벡터로 정의될 수 있다. 예를 들어, 오류 벡터는 수학식 3 내지 4를 참조할 수 있다.

[105] 상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계(S260)는, 상기 MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서 크기가 작은 성분들을 더하여 고속화 임계값을 산출하는 단계 및 산출된 고속화 임계값을 상기 최소 비용과 비교하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계(S260)는, 도 3에 따른 설명을 참조할 수 있으며, 고속화 임계값은 수학식 9를 참조할 수 있다.

[106] 상기 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 고속화 임계값이 상기 최소비용보다 작은 경우에 한하여, 상기 현재 차수의 다음 차수에 대하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[107] 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계(S230) 이후에, 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어 상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계는 도 4에 따른 설명을 참조할 수 있다.

[108] 상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 해밍 거리가 상기 미리 설정된 제1 임계값보다 크면, 상기 오류 벡터에 대한 연산을 생략하고, 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 변경하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다. 더욱 상세하게는 도 4에 따른 설명을 참조할 수 있다.

[109] 한편, 도 3에 따른 PNC를 적용하여 단계 S165을 현재 차수 o에 대하여 미리 정의된 고속화 조건으로서 판단한 결과 다음 차수 o+1에 대한 단계 S130을 수행하는 것으로 결정되는 경우, o+1 차수에서 단계 S140에서 산출되는 비용은 다음의 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

[110] [수식10]

$$s_{o+1} = \sum_{j=1}^{o+1} |y_{lj}| + \gamma$$

[111] 수학식 10을 참조하면, 전단부는, MRB에 따른 정렬 신호(y)에서 오류 벡터에 의해 지시되는 o+1개의 성분들에 대한 크기를 더하는 연산으로서 수학식 5 내지 7에서의 전단부와 대응될 수 있다. 또한, 수학식 10에서의 후단부는 LRB에 해당하는 심볼들의 신뢰도(reliability)에 대한 부분 합으로서, 수학식 5 내지 7에서의 후단부와 대응될 수 있다.

[112] 일반적으로 LRB는 신뢰도가 낮은 값들이기 때문에, MRB에 해당하는

성분들보다는 오류 가능성이 높다. 따라서, 수학식 10에서의 γ는 0보다 큰 값을 가질 것으로 예상할 수 있다. 이러한 점을 이용하여 수학식 9에서 정의한 고속화 임계값(다음 차수 o+1에 대한 연산을 생략할지 결정하는 임계값)은 다음의 수학식 11과 같이 변경할 수 있다.

[113] [수식11]

$$S_{proposed(o+1)} = S_{PNC(o+1)} + f(SNR, code, o+1)$$

[114] 수학식 11을 참조하면, 새롭게 정의하는 고속화 임계값($S_{proposed}$)은 수학식 9에서 정의한 고속화 임계값(S_{PNC})에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호(code)를 인자로 갖는 함수(f)를 더한 값으로 정의할 수 있다.

[115] 따라서, 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계는, 상기 크기가 작은 성분들의 합에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수를 더하여 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계를 포함할 수도 있다.

[116] 한편, 상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계를 대체 또는 추가하여, 미리 설정된 제2 임계값을 사용할 수 있다. 구체적으로, 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계(S230) 이후에(또는 상기 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에), 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제2 임계값과 비교하는 단계 및 상기 해밍 거리가 상기 제2 임계값보다 작으면, 상기 비용을 산출하는 단계를 생략하고 곧바로 상기 치환된 오류 정정 후보어를 상기 치환된 오류 정정 부호어로 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 즉, 해밍 거리가 제2 임계값보다 작으면 비용을 산출하는 단계를 비롯한 이후의 모든 과정을 생략하고, 곧바로 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정하여 복호화 절차를 종료할 수 있다.

[117]

[118] 도 6a 내지 도 6j는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들의 복호화 성능과 속도를 각 차수에 대하여 분석한 그래프이다.

[119] 이하의 그래프들에서 HDD는 일반적인 경판정 기반 복호화(Hard Decision Decoding)을 의미하고, PNC는 도 3에 따른 단계 S165를 적용한 경우를 의미하며, PSC는 도 4에 따른 단계 S135를 PNC에 추가로 적용한 경우를 의미한다. 또한 proposed 1(방법 1)은 도 5에 따른 흐름도에서, 앞선 수학식 11에 따라 새롭게 정의된 고속화 임계값을 이용하여 고속화 조건을 판단하는 과정을 적용하고 제2 임계값과 해밍 거리를 비교하여 비용 산출 단계를 생략한 방법을 의미할 수 있다.

[120] 또한, proposed2(방법 2)는 방법 1에 추가로 도 4에 따른 단계 S135를 함께 적용하여 현재 오류 벡터에 대한 연산을 생략한 방법을 의미한다.

[121] 도 6a 내지 도 6j에서 사용한 부호화어는 부호의 길이(n)가 127이고, 차원(k)는 64이며, 최소거리(d)는 21인 BCH(Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 부호를

사용하였다. 또한, HDD는 최소거리(d)가 21 점을 감안하여 10개 이하의 오류는 모두 고치는 것으로 하였다. 또한, 그래프에서 세로축은 복호화 성능을 나타내는 부호 오류율(WER, word error rate) 또는 복호화 속도(Speed-up)을 나타낸다. 또한, 그래프에서 가로축은 SNR(신호 대 잡음비)를 나타낸다. 이때, 복호화 속도는 도 2에서 설명한 OSD의 full ssearch 알고리즘과 비교하여 얼마나 빨라졌는지를 상대적으로 표시한 것이다. 각 실험에서 모든 데이터는 7 비트로 양자화하였으며, 도 4의 PSC에 따른 미리 설정된 제1 임계값은 25, 도 5의 설명에 따른 제2 임계값은 10으로 설정하였다. 또한, 방법 1(proposed 1), 방법 2(proposed2)에서 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수(f)값은 차수1부터 5까지 각각 346.5, 346.5, 321.3, 270.9, 270.9를 사용하였다.

[122] 도 6a 내지 도 6j를 참조하면, 차수 1부터 5까지에 대하여 복호화 성능과 속도를 비교한 결과를 확인할 수 있다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 방법 1, 방법 2는 PNC, PSC와 복호화 성능 면에서 거의 동일하다. 또한, 복호화 속도는 방법 1, 방법 2가 PNC, PSC보다 확실하게 빠르다. 방법1의 경우는 낮은 SNR에서는 PSC에 비해서 복호화 속도가 느린 구간이 있지만, SNR이 증가함에 따라서 빠르게 방법2의 복호화 속도에 수렴하는 것을 알 수 있다. 방법2의 경우는 다른 모든 방법들보다 월등히 빠른 복호화 속도를 나타내는 것을 알 수 있다.

[123] 구체적으로, 방법 1, 방법 2는 각 order에 따른 OSD-FS와 비교해서 최대 약 13770배 (방법1), 그리고 14609배 (방법2)가 빠르고, PNC와 비교해서 최대 약 336배 (방법1), 그리고 797배 (방법2)가 빠르다. 그리고 PSC와 비교해서 최대 약 61배 (방법1), 그리고 139배 (방법2)가 빠르다.

[124]

[125] 도 7a 내지 도 7d는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들 중에서 방법 2에 따른 복호화 성능과 속도를 분석한 그래프이다.

[126] 도 7a 내지 도 7b에서 실험 조건은 도 6a 내지 도 6j와 같다.

[127] 도 7a 내지 도 7b를 참조하면, 각 차수에 따른 방법 2의 복호화 성능과 속도를 확인할 수 있다. 여기서 도 7b에 도시된 복호화 속도(Relative Speed)는 차수 1에서의 OSD-FS(full search)와 비교한 상대 속도를 나타낸다. 구체적으로 방법 2는 SNR이 커짐에 따라서 차수와 관계없이 차수 1에 따른 OSD-FS의 속도에 수렴한다. 즉, SNR이 어느 정도 이상이 되면, 차수를 높일수록 복호화 성능은 월등히 좋아지면서 연산 복잡도는 최소화할 수 있다.

[128] 도 7c 내지 도 7d를 참조하면, 방법 2(proposed2)에서 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수 값(그래프에서는 β로 표시)을 변화시켰을 때의 차수 4에 대한 복호화 성능 및 속도를 확인할 수 있다. 이때, 복호화 속도는 차수 4에서 OSD-FS와 비교하여 상대적 속도를 나타낸다. 복호화 성능 관점으로 봤을 때, β 값이 특정값을 넘어가기 전에는 동일한 성능을 나타내게 되고, β 값이 증가함에 따라서 복호화 성능은 점진적으로 떨어진다.

복호화 속도는 β 값이 커질수록 점점 더 빨라지는 특성을 나타낸다. 즉, β 값에 따라서 복호 성능과 복호 속도간의 세밀한 trade-off 관계가 성립함으로, 시스템 환경에 맞도록 사용자가 파라미터들을 변경할 수 있다.

[129]

[130] 도 8a 내지 도 8h는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들의 복호화 성능과 속도를 다른 실험조건에서 비교한 그래프이다.

[131] 도 8a 내지 도 8h에서 부호어는 길이가 255이고 차원이 131이며 최소거리가 37인 BCH 부호를 사용하였다. 또한, HDD는 최소 거리가 37이므로, 18개 이하의 오류는 모두 고치도록 설정하였다. 이때, 복호화 속도는 도 2에서 설명한 OSD의 full ssearch 알고리즘(OSD-FS)과 비교하여 얼마나 빨라졌는지를 상대적으로 표시한 것이다. 각 실험에서 모든 데이터는 7 비트로 양자화하였으며, 도 4의 PSC에 따른 미리 설정된 제1 임계값은 46, 도 5의 설명에 따른 제2 임계값은 18로 설정하였다. 또한, 방법 1(proposed 1), 방법 2(proposed2)에서 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수(f)값은 차수1부터 7까지 각각 706.8, 706.8, 706.8, 706.8, 706.8, 644.8, 620.0으로 설정하였다.

[132] 도 6a 내지 도 6j에서 사용한 부호어는 차수가 5를 넘어가도 복호 성능이 더 이상 향상되지 않으나, 도 8a 내지 도 8h에서 사용한 부호어는 차수 7까지 증가시켰을 때 복호화 성능이 확실히 향상된다. 그러나, PSC나 PNC의 경우 차수 5에서도 엄청난 시간이 소요되기 때문에, 도 8a 내지 도 8h에서는 차수 4 까지의 성능을 비교하였다.

[133] 도 8a 내지 도 8h를 참조하면, 방법 1 내지 2는 PNC 및 PSC와 복호 성능에 있어서 거의 동일한 성능을 보여준다. 그에 반해서, 방법 1 내지 2의 복호 속도는 각 차수에 따른 OSD-FS와 비교해서 최대 약 5287배 (방법1)와 7420배 (방법2)가 빠르고, PNC와 비교해서 최대 약 747배 (방법1), 그리고 1775배 (방법2)가 빠르다. 그리고, PSC와 비교해서 최대 약 101배 (방법1)와 240배 (방법2)가 빠르다. 또한, 차수를 5이상 높여 비교할 경우, 방법 1 내지 2는 PNC나 PSC와 비교해서 월등히 더 빨라질 것으로 예측할 수 있다.

[134]

[135] 도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 일 실시예에 따른 제안 방법들 중에서 방법 2에 따른 복호화 성능과 속도를 다른 실험조건에서 분석한 그래프이다.

[136] 도 9a 내지 도 9d의 실험 조건은 도 8a 내지 도 8h와 같다.

[137] 도 9a 내지 도 9b를 참조하면, 각 차수에 따른 방법 2의 복호 성능과 복호 속도를 확인할 수 있다. 이때, 도 9b의 복호화 속도(Relative Speed)는 차수 1에서의 OSD-FS와 비교한 상대적 속도를 나타낸다.

[138] 도 9a에서 확인되는 것과 같이, 차수가 증가함에 따라서, 방법2의 복호 성능이 현저히 증가하는 것을 알 수 있다. 도 6a 내지 도 6j에서와 마찬가지로 방법2는 차수와 상관없이 SNR이 증가함에 따라서 빠르게 차수 1의 OSD-FS 속도에 수렴한다. 즉, SNR이 어느 정도 이상이 되면, 연산 복잡도는 차수와 상관없이

항상 일정한 수준(가장 낮은 수준)을 유지하게 되는 현상을 볼 수 있다.

[139] 도 9c 내지 도 9d를 참조하면, 방법 2(proposed2)에서 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수 값(그래프에서는 β로 표시)을 변화시켰을 때의 차수 4에 대한 복호화 성능 및 속도를 확인할 수 있다. 여기서 복호화 속도는 차수 4에서의 OSD-FS와 비교한 상대적 속도를 나타낸다. 도 7a 내지 도 7d에서와 마찬가지로, β 값이 특정값을 넘어가기 전에는 동일한 복호 성능을 나타내고, β 값이 특정값을 넘어간 후에는 복호 성능이 점진적으로 떨어지게 된다. 이에 반해서, 복호 속도는 β 값이 커질수록 속도가 점점 더 빨라지는 특성을 나타낸다. 이러한 특성을 활용하면, 사용자가 시스템 환경에 맞도록 파라미터들을 변경할 수 있다.

[140]

[141] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치에 대한 하드웨어 구성도이다.

[142] 도 10을 참조하면 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치(100)는, 적어도 하나의 프로세서(processor, 110) 및 상기 적어도 하나의 프로세서(110)가 적어도 하나의 단계를 수행하도록 지시하는 명령어들(instructions)을 저장하는 메모리(memory, 120)를 포함할 수 있다.

[143] 또한, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치(100)는, 유무선 네트워크를 통해 기지국과 통신을 수행하는 송수신 장치(transceiver, 130)를 포함할 수 있다. 또한, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치(100)는 입력 인터페이스 장치(140), 출력 인터페이스 장치(150), 저장 장치(160) 등을 더 포함할 수 있다. 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치(100)에 포함된 각각의 구성 요소들은 버스(bus, 170)에 의해 연결되어 서로 통신을 수행할 수 있다.

[144] 여기서 프로세서(110)는 중앙 처리 장치(central processing unit, CPU), 그래픽 처리 장치(graphics processing unit, GPU), 또는 본 발명의 실시예들에 따른 방법들이 수행되는 전용의 프로세서를 의미할 수 있다. 메모리(120) 및 저장 장치(160) 각각은 휘발성 저장 매체 및 비휘발성 저장 매체 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다. 예를 들어, 메모리(120)는 읽기 전용 메모리(read only memory, ROM) 및 랜덤 액세스 메모리(random access memory, RAM) 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다.

[145] 상기 적어도 하나의 단계는, 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계, 상기 정렬 신호를 경판정(hard decision)하여 경판정 신호를 획득하는 단계, 상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를 획득하는 단계, 상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계, 비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계, 산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정

후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계 및 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

[146] 상기 오류 정정 후보어를 획득하는 단계는, 상기 상위 신호와 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 치환된 생성행렬과 곱하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[147] 상기 비용함수는, 상기 정렬 신호에서, 상기 치환된 오류 정정 후보어와 상기 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의될 수 있다.

[148] 상기 오류 벡터는, 상기 MRB와 동일한 길이를 갖고, 해밍 무게(hamming weight)가 상기 현재 차수인 벡터로 정의될 수 있다.

[149] 상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는, 상기 MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서 크기가 작은 성분들을 더하여 고속화 임계값을 산출하는 단계 및 산출된 고속화 임계값을 상기 최소 비용과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[150] 상기 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 고속화 임계값이 상기 최소비용보다 작은 경우에 한하여, 상기 현재 차수의 다음 차수에 대하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[151] 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계는, 상기 크기가 작은 성분들의 합에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수를 더하여 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[152] 상기 치환된 오류 정정 부호어를 획득하는 단계 이후에, 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[153] 상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에, 비교 결과 상기 해밍 거리가 상기 미리 설정된 제1 임계값보다 크면, 상기 오류 벡터에 대한 연산을 생략하고, 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 변경하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행할 수 있다.

[154] 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에(또는 상기 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에), 상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제2 임계값과 비교하는 단계 및 상기 해밍 거리가 상기 제2 임계값보다 작으면, 상기 비용을 산출하는 단계를 생략하고 곧바로 상기 치환된 오류 정정 후보어를 상기 치환된 오류 정정 부호어로 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[155] 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치(100)의 예를 들면, 오류 정정 부호화에 따른 통신이 가능한 데스크탑 컴퓨터(desktop computer), 랩탑 컴퓨터(laptop computer), 노트북(notebook), 스마트폰(smart phone), 태블릿 PC(tablet PC), 모바일폰(mobile phone), 스마트 워치(smart watch), 스마트 글래스(smart glass), e-book 리더기, PMP(portable multimedia player), 휴대용

게임기, 네비게이션(navigation) 장치, 디지털 카메라(digital camera), DMB(digital multimedia broadcasting) 재생기, 디지털 음성 녹음기(digital audio recorder), 디지털 음성 재생기(digital audio player), 디지털 동영상 녹화기(digital video recorder), 디지털 동영상 재생기(digital video player), PDA(Personal Digital Assistant) 등일 수 있다.

[156]

[157] 본 발명에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통해 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위해 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

[158] 컴퓨터 판독 가능 매체의 예에는 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리(flash memory) 등과 같이 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함될 수 있다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러(compiler)에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터(interpreter) 등을 사용해서 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함할 수 있다. 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 적어도 하나의 소프트웨어 모듈로 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[159] 또한, 상술한 방법 또는 장치는 그 구성이나 기능의 전부 또는 일부가 결합되어 구현되거나, 분리되어 구현될 수 있다.

[160] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

청구범위

[청구항 1] 수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계;
상기 정렬 신호를 경판정(hard decision)하여 경판정 신호를 획득하는 단계;
상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를 획득하는 단계;
상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계;
비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계;
산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계; 및
미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 2] 청구항 1에서,
상기 오류 정정 후보어를 획득하는 단계는,
상기 상위 신호와 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 치환된 생성행렬과 곱하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 3] 청구항 1에서,
상기 비용함수는,
상기 정렬 신호에서, 상기 치환된 오류 정정 후보어와 상기 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의되는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 4] 청구항 1에서,
상기 오류 벡터는,
상기 MRB와 동일한 길이를 갖고, 해밍 무게(hamming weight)가 상기 현재 차수인 벡터로 정의되는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 5] 청구항 1에서,
상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는,
상기 MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서 크기가 작은 성분들을 더하여 고속화 임계값을 산출하는 단계; 및
산출된 고속화 임계값을 상기 최소 비용과 비교하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 6] 청구항 5에서,
상기 비교하는 단계 이후에,

비교 결과 상기 고속화 임계값이 상기 최소비용보다 작은 경우에 한하여, 상기 현재 차수의 다음 차수에 대하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 7] 청구항 5에서,
상기 고속화 임계값을 산출하는 단계는,
상기 크기가 작은 성분들의 합에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수를 더하여 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 8] 청구항 1에서,
상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에,
상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계를 더 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 9] 청구항 8에서,
상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에,
비교 결과 상기 해밍 거리가 상기 미리 설정된 제1 임계값보다 크면, 상기 오류 벡터에 대한 연산을 생략하고, 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 변경하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 10] 청구항 1에서,
상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에,
상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제2 임계값과 비교하는 단계; 및
상기 해밍 거리가 상기 제2 임계값보다 작으면, 상기 비용을 산출하는 단계를 생략하고 곧바로 상기 치환된 오류 정정 후보어를 상기 치환된 오류 정정 부호어로 결정하는 단계를 더 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 방법.

[청구항 11] 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치로서,
적어도 하나의 프로세서(processor); 및
상기 적어도 하나의 프로세서가 적어도 하나의 단계를 수행하도록 지시하는 명령어들(instructions)을 저장하는 메모리(memory)를 포함하고,
상기 적어도 하나의 단계는,
수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득하는 단계;
상기 정렬 신호를 경판정(hard decision)하여 경판정 신호를 획득하는 단계;
상기 경판정 신호에서 MRB(most reliable bases)에 해당하는 상위 신호를

획득하는 단계;
상기 상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어(permuted and corrected codeword candidate)를 획득하는 단계;
비용함수를 이용하여 상기 현재 차수에 대한 비용을 산출하는 단계;
산출된 비용을 최소 비용과 비교한 결과에 따라 상기 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어(permuted and corrected codeword)로 결정하는 단계; 및
미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 12] 청구항 11에서,
상기 오류 정정 후보어를 획득하는 단계는,
상기 상위 신호와 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 치환된 생성행렬과 곱하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 13] 청구항 11에서,
상기 비용함수는,
상기 정렬 신호에서, 상기 치환된 오류 정정 후보어와 상기 경판정 신호가 서로 다른 값을 갖는 위치에 해당하는 성분들의 크기를 모두 더하는 연산으로 정의되는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 14] 청구항 11에서,
상기 오류 벡터는,
상기 MRB와 동일한 길이를 갖고, 해밍 무게(hamming weight)가 상기 현재 차수인 벡터로 정의되는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 15] 청구항 11에서,
상기 미리 정의된 고속화 조건을 판단하는 단계는,
상기 MRB에 해당하는 정렬 신호의 성분들 중에서 크기가 작은 성분들을 더하여 고속화 임계값을 산출하는 단계; 및
산출된 고속화 임계값을 상기 최소 비용과 비교하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 16] 청구항 15에서,
상기 비교하는 단계 이후에,
비교 결과 상기 고속화 임계값이 상기 최소비용보다 작은 경우에 한하여, 상기 현재 차수의 다음 차수에 대하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 17] 청구항 15에서,
상기 고속화 임계값을 산출하는 단계는,

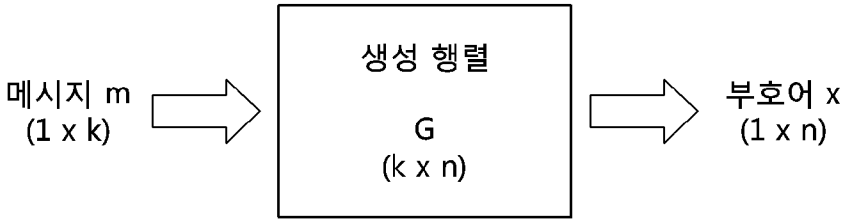
상기 크기가 작은 성분들의 합에 SNR(Signal to Noise Ratio)과 차수 및 오류 정정 부호를 인자로 갖는 함수를 더하여 상기 고속화 임계값을 산출하는 단계를 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 18] 청구항 17에서,
상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에,
상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계를 더 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

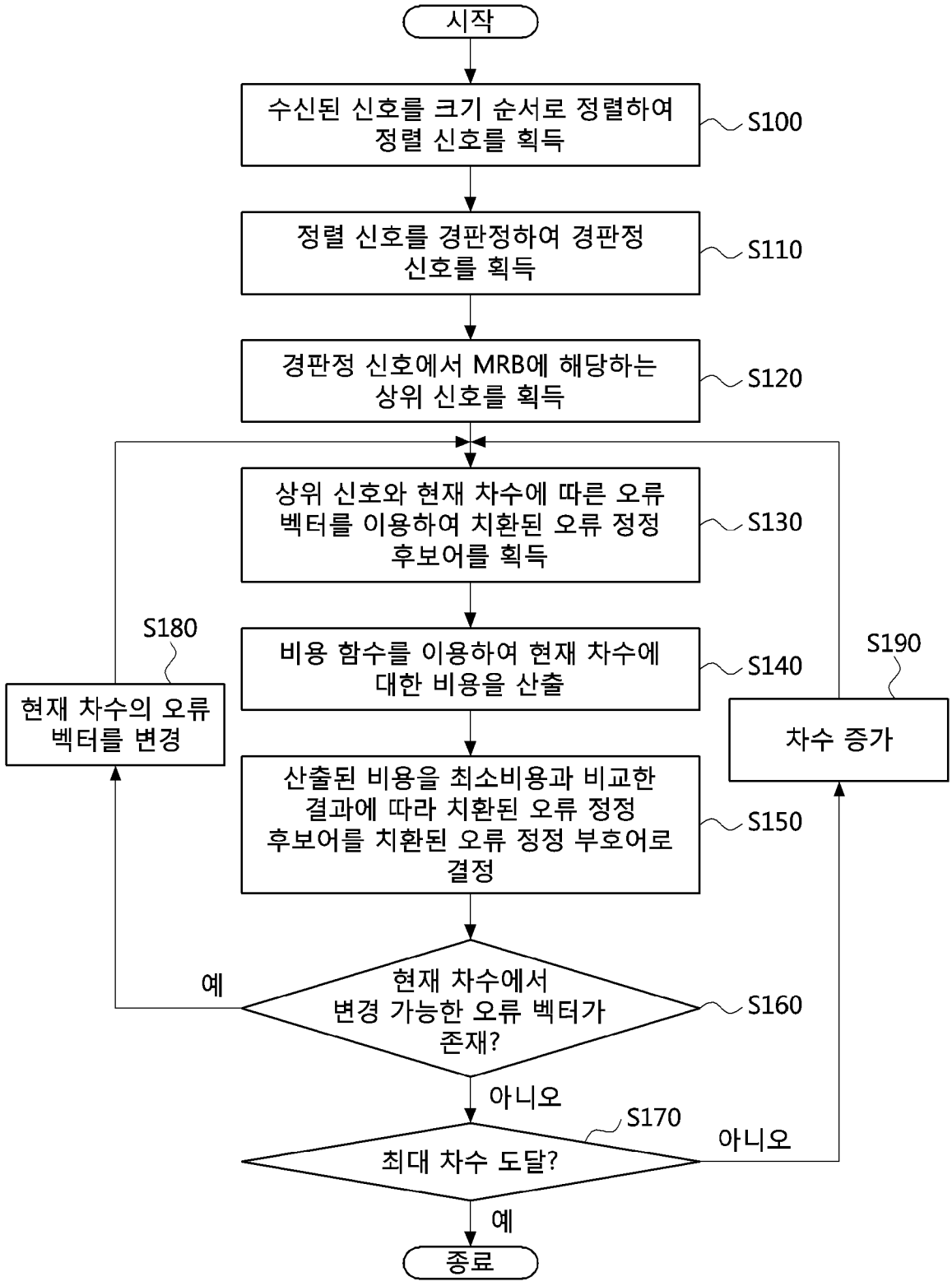
[청구항 19] 청구항 18에서,
상기 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교하는 단계 이후에,
비교 결과 상기 해밍 거리가 상기 미리 설정된 제1 임계값보다 크면, 상기 오류 벡터에 대한 연산을 생략하고, 상기 현재 차수에 따른 오류 벡터를 변경하여 상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계를 수행하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

[청구항 20] 청구항 18에서,
상기 치환된 오류 정정 후보어를 획득하는 단계 이후에,
상기 경판정 신호와 상기 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제2 임계값과 비교하는 단계; 및
상기 해밍 거리가 상기 제2 임계값보다 작으면, 상기 비용을 산출하는 단계를 생략하고 곧바로 상기 치환된 오류 정정 후보어를 상기 치환된 오류 정정 부호어로 결정하는 단계를 더 포함하는, 연판정 기반으로 선형 부호를 고속 복호화하는 장치.

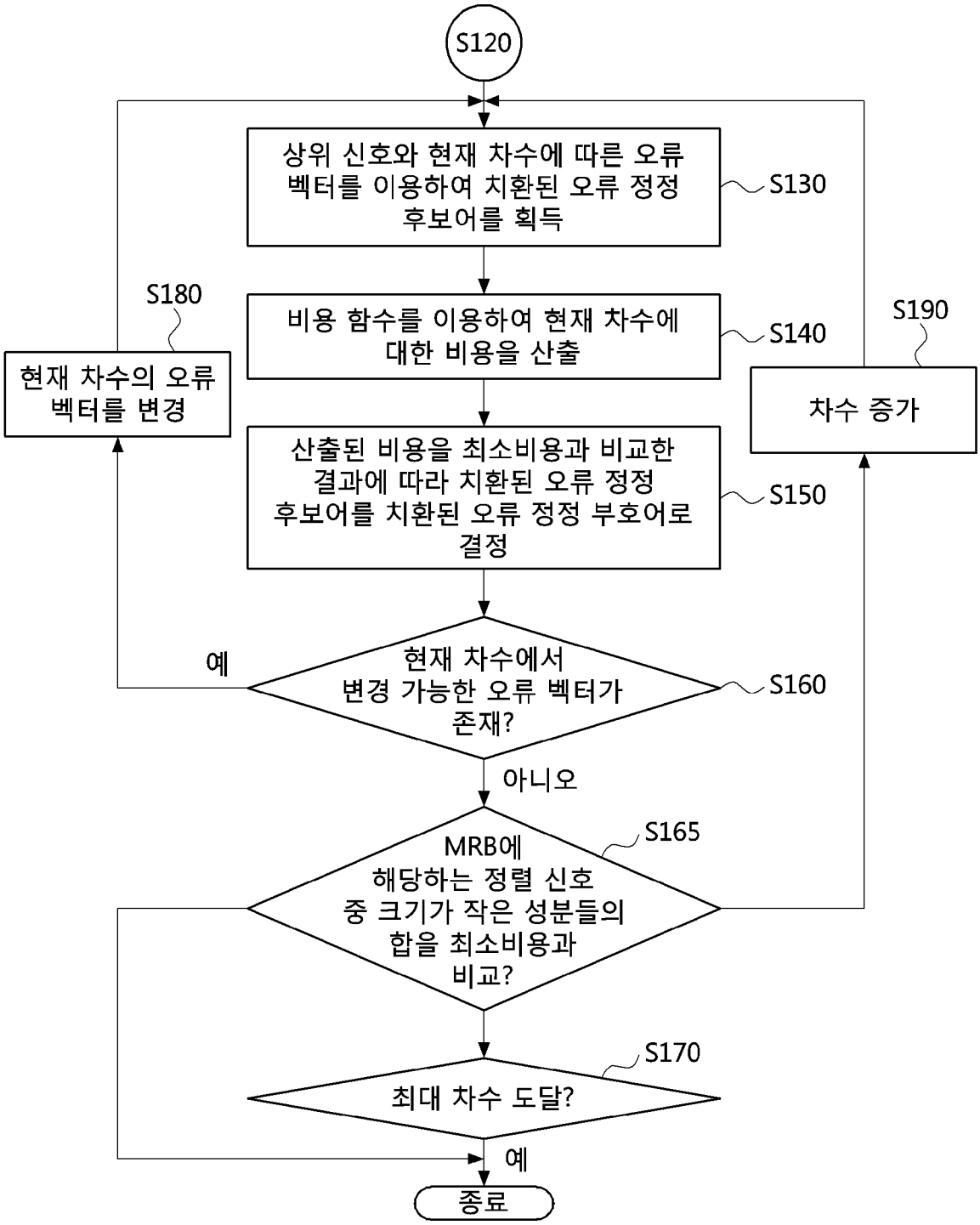
[도1]


메시지 m
(1 x k)
생성 행렬
G
(k x n)
부호어 x
(1 x n)

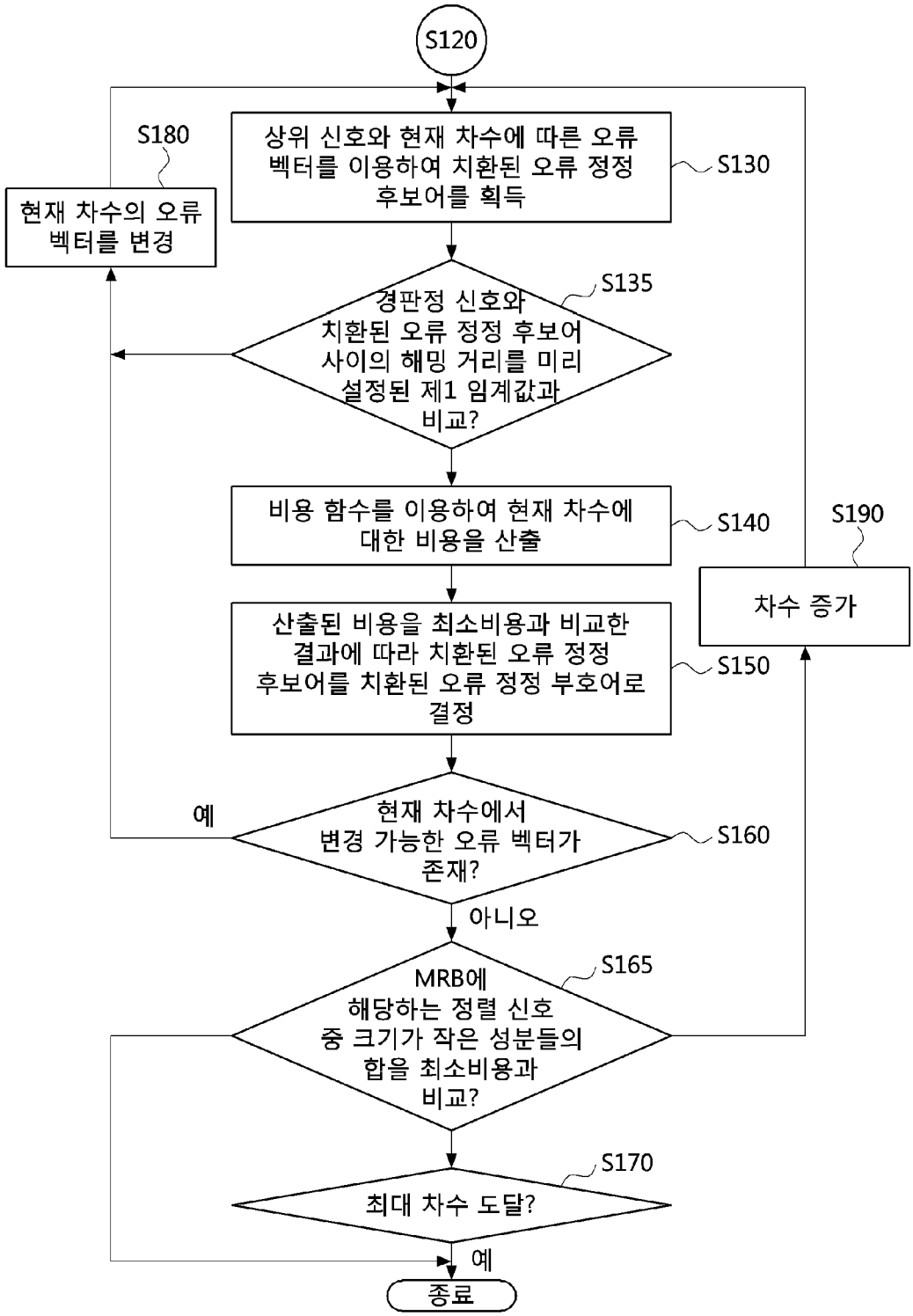
[도2]


시작
수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득
S100
정렬 신호를 경판정하여 경판정 신호를 획득
S110
경판정 신호에서 MRB에 해당하는 상위 신호를 획득
S120
상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득
S130
비용 함수를 이용하여 현재 차수에 대한 비용을 산출
S140
산출된 비용을 최소비용과 비교한 결과에 따라 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정
S150
현재 차수에서 변경 가능한 오류 벡터가 존재?
S160
예
현재 차수의 오류 벡터를 변경
S180
아니오
최대 차수 도달?
S170
아니오
차수 증가
S190
예
종료

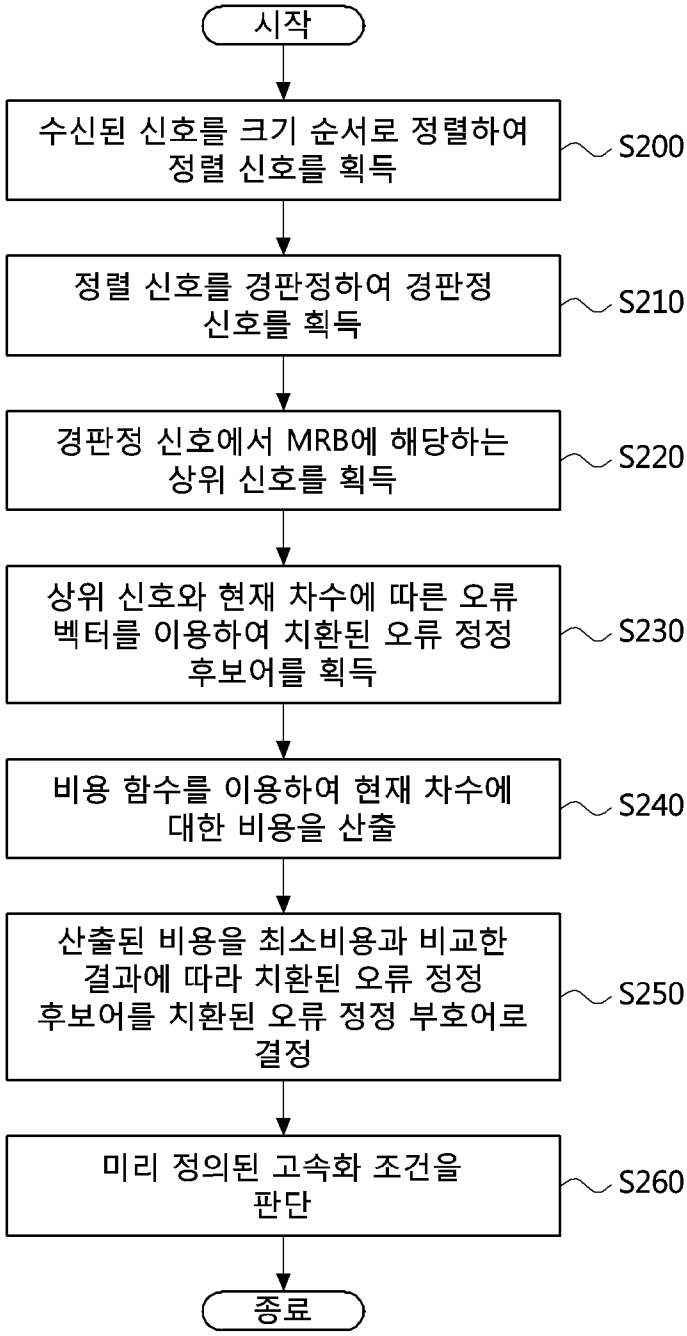
[도3]


S120
상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득
S130
비용 함수를 이용하여 현재 차수에 대한 비용을 산출
S140
산출된 비용을 최소비용과 비교한 결과에 따라 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정
S150
현재 차수에서 변경 가능한 오류 벡터가 존재?
S160
예
아니오
MRB에 해당하는 정렬 신호 중 크기가 작은 성분들의 합을 최소비용과 비교?
S165
최대 차수 도달?
S170
예
종료
현재 차수의 오류 벡터를 변경
S180
차수 증가
S190

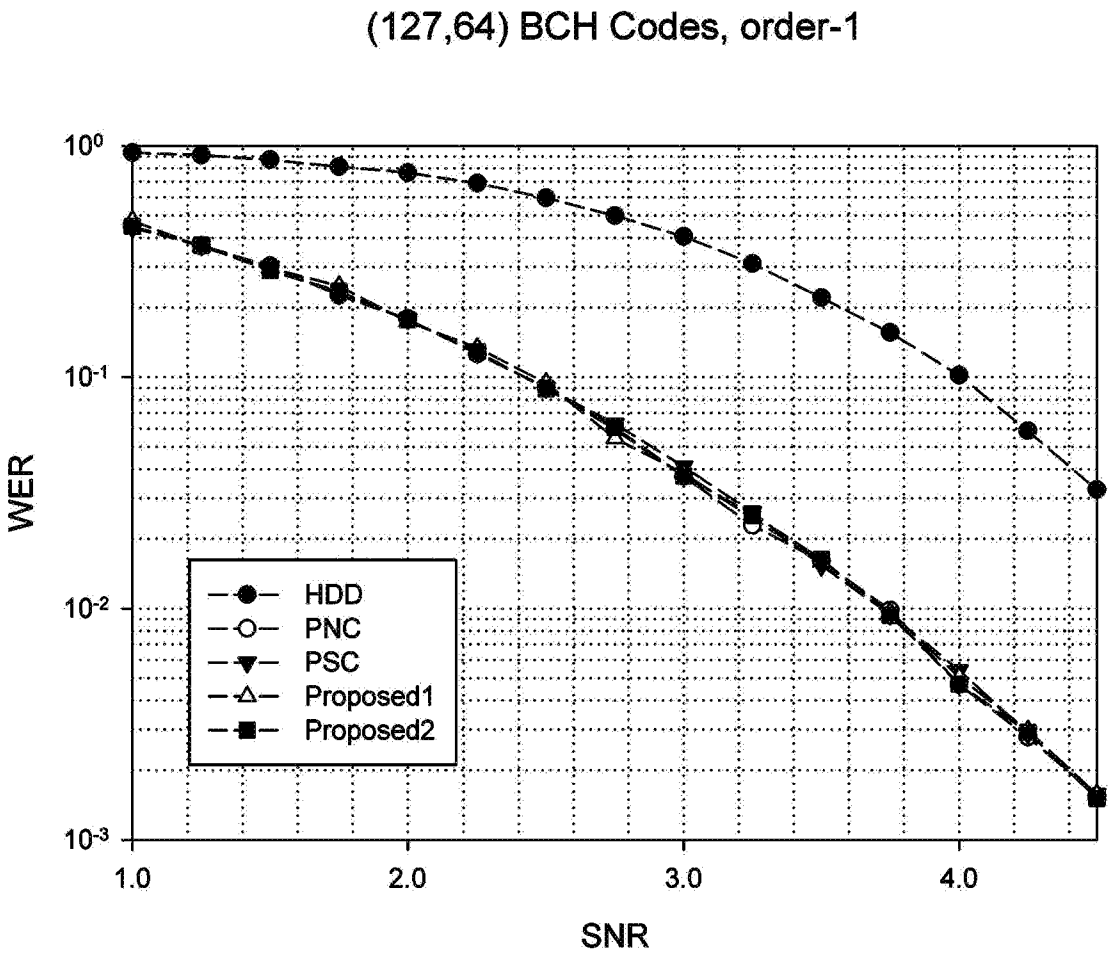
[도4]


S120
상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득
S130
경판정 신호와 치환된 오류 정정 후보어 사이의 해밍 거리를 미리 설정된 제1 임계값과 비교?
S135
현재 차수의 오류 벡터를 변경
S180
비용 함수를 이용하여 현재 차수에 대한 비용을 산출
S140
산출된 비용을 최소비용과 비교한 결과에 따라 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정
S150
차수 증가
S190
현재 차수에서 변경 가능한 오류 벡터가 존재?
S160
예
아니오
MRB에 해당하는 정렬 신호 중 크기가 작은 성분들의 합을 최소비용과 비교?
S165
최대 차수 도달?
S170
예
종료

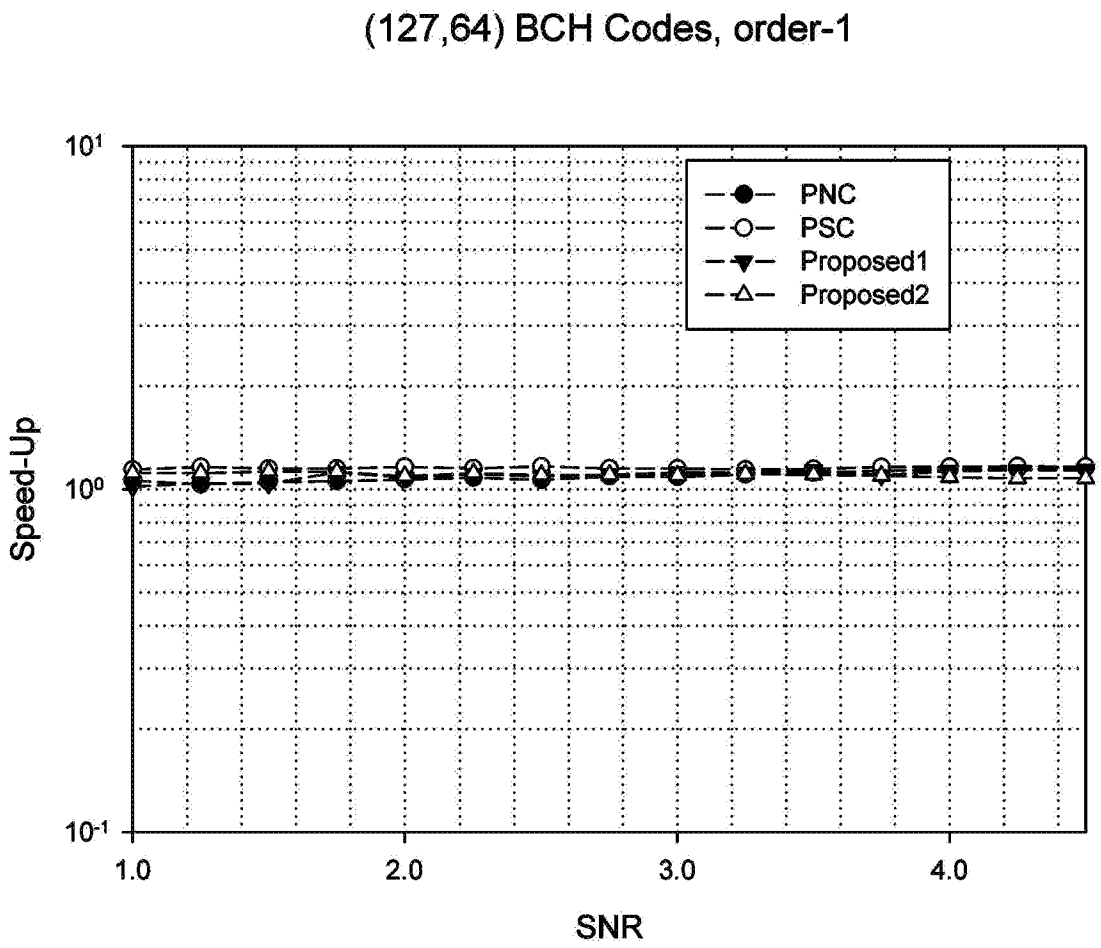
[도5]


시작
수신된 신호를 크기 순서로 정렬하여 정렬 신호를 획득
S200
정렬 신호를 경판정하여 경판정 신호를 획득
S210
경판정 신호에서 MRB에 해당하는 상위 신호를 획득
S220
상위 신호와 현재 차수에 따른 오류 벡터를 이용하여 치환된 오류 정정 후보어를 획득
S230
비용 함수를 이용하여 현재 차수에 대한 비용을 산출
S240
산출된 비용을 최소비용과 비교한 결과에 따라 치환된 오류 정정 후보어를 치환된 오류 정정 부호어로 결정
S250
미리 정의된 고속화 조건을 판단
S260
종료

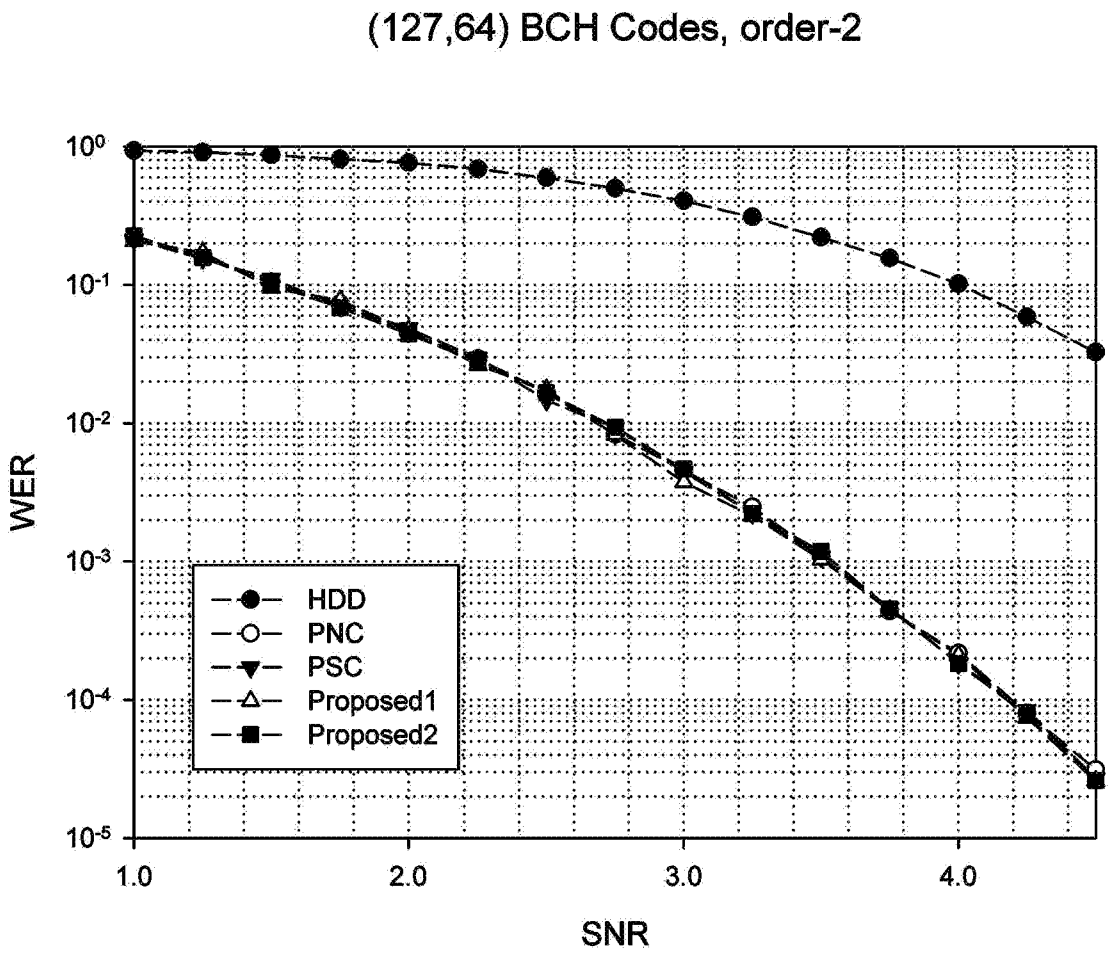
[도6a]


(127,64) BCH Codes, order-1
WER
SNR
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
1.0
2.0
3.0
4.0
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2

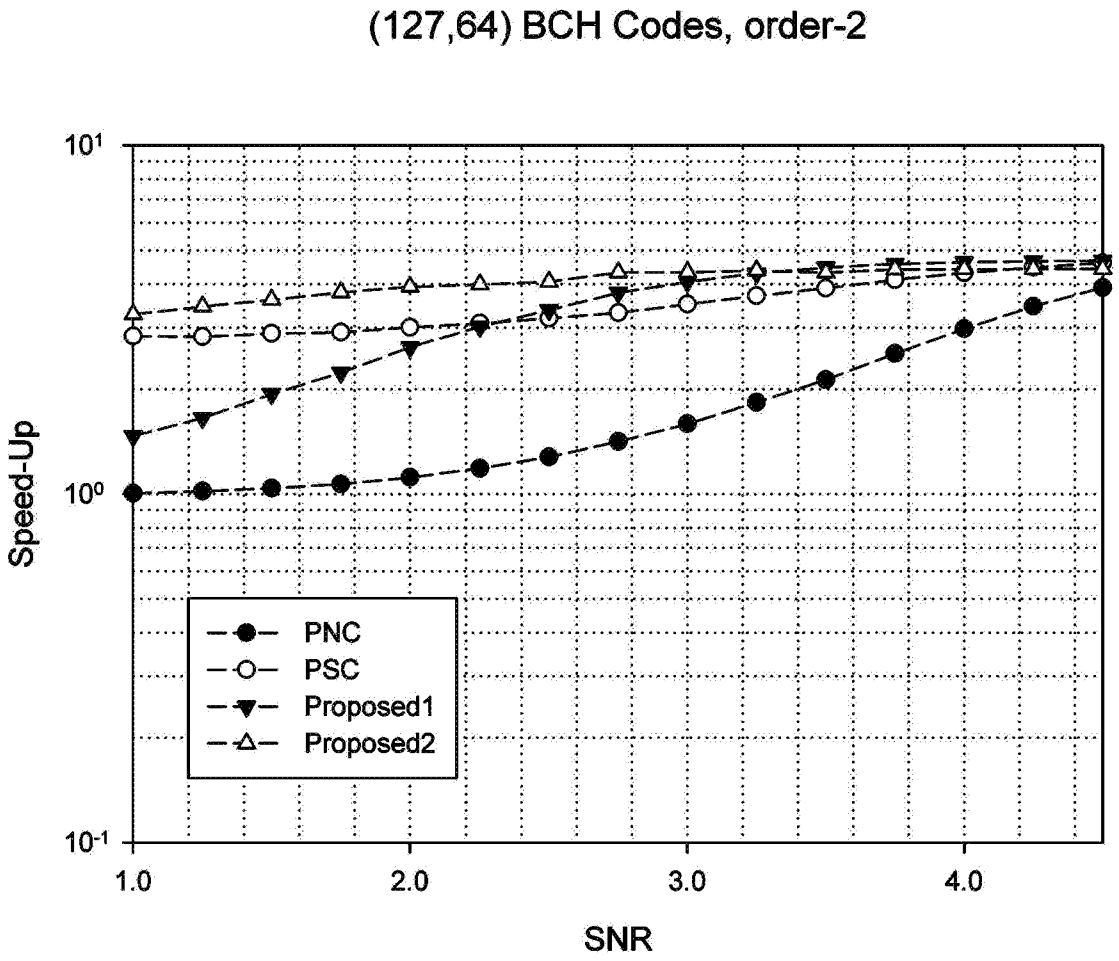
[도6b]


(127,64) BCH Codes, order-1
Speed-Up
SNR
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^1
10^0
10^-1
1.0
2.0
3.0
4.0

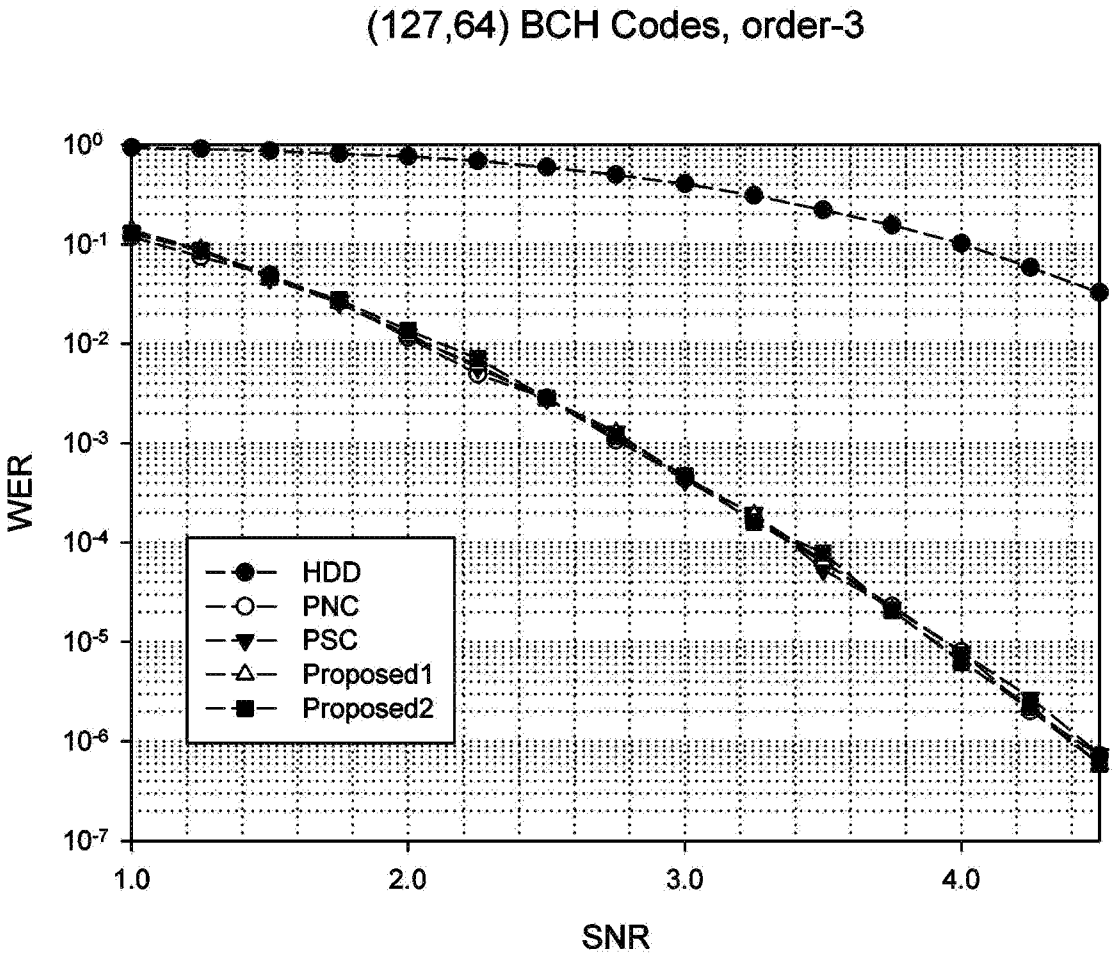
[도6c]


(127,64) BCH Codes, order-2
WER
SNR
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
1.0
2.0
3.0
4.0
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2

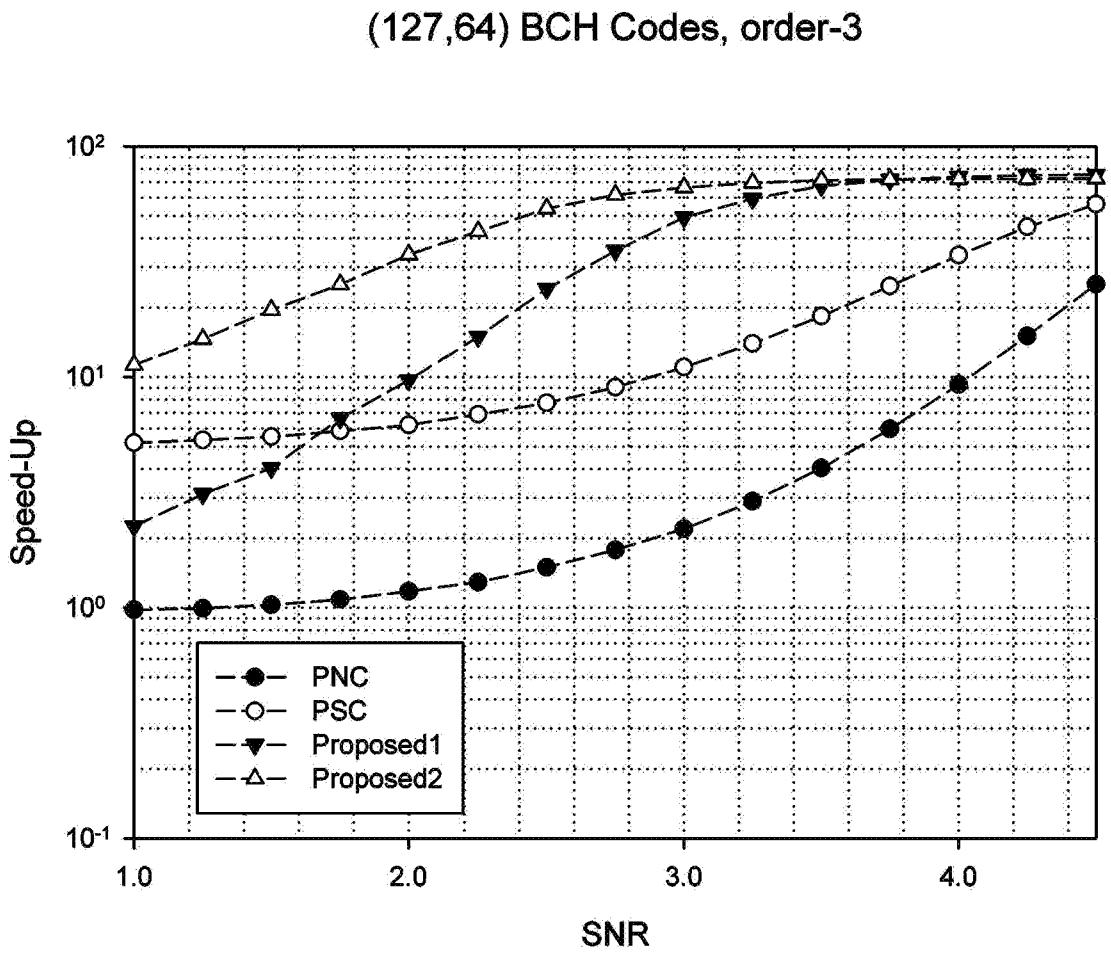
[도6d]


(127,64) BCH Codes, order-2
Speed-Up
SNR
10^1
10^0
10^-1
1.0
2.0
3.0
4.0
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2

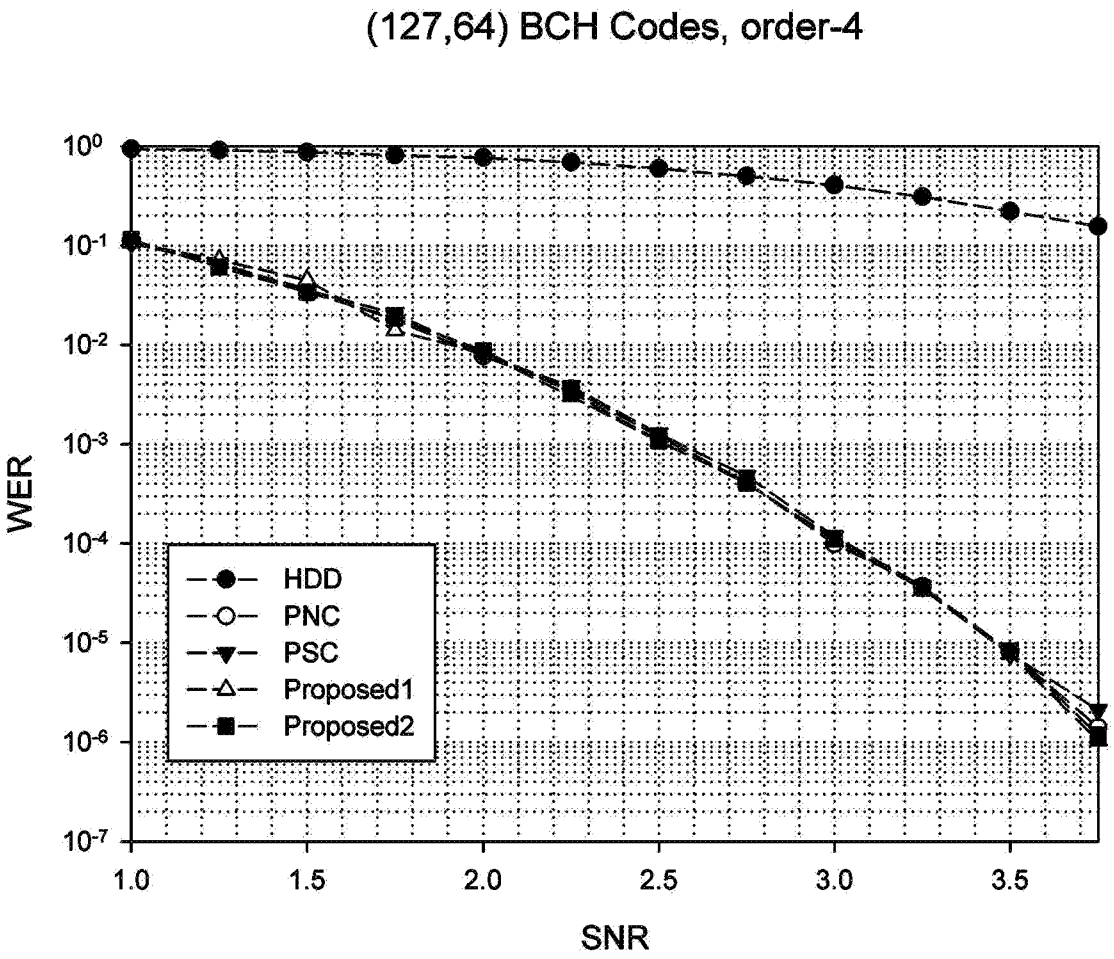
[도6e]


(127,64) BCH Codes, order-3
WER
SNR
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
1.0
2.0
3.0
4.0

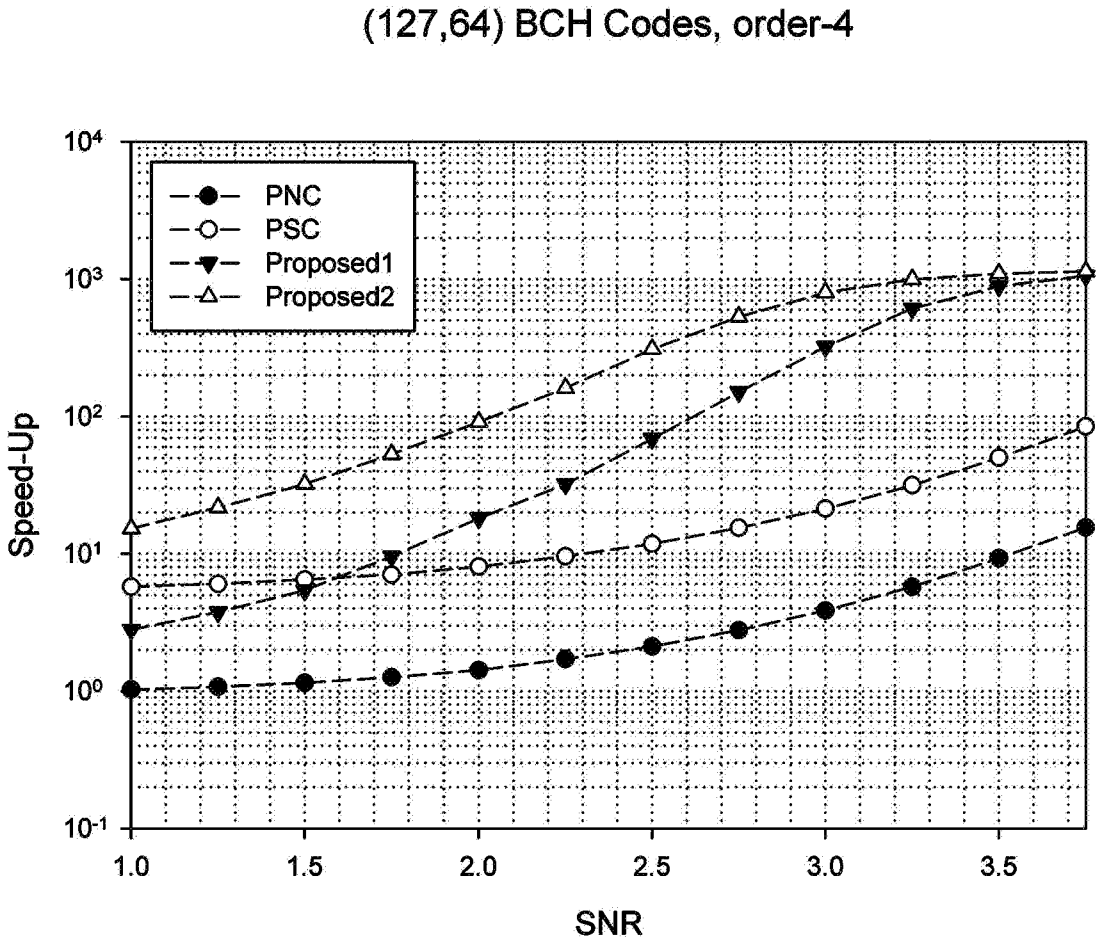
[도6f]


(127,64) BCH Codes, order-3
Speed-Up
SNR
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
1.0
2.0
3.0
4.0
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2

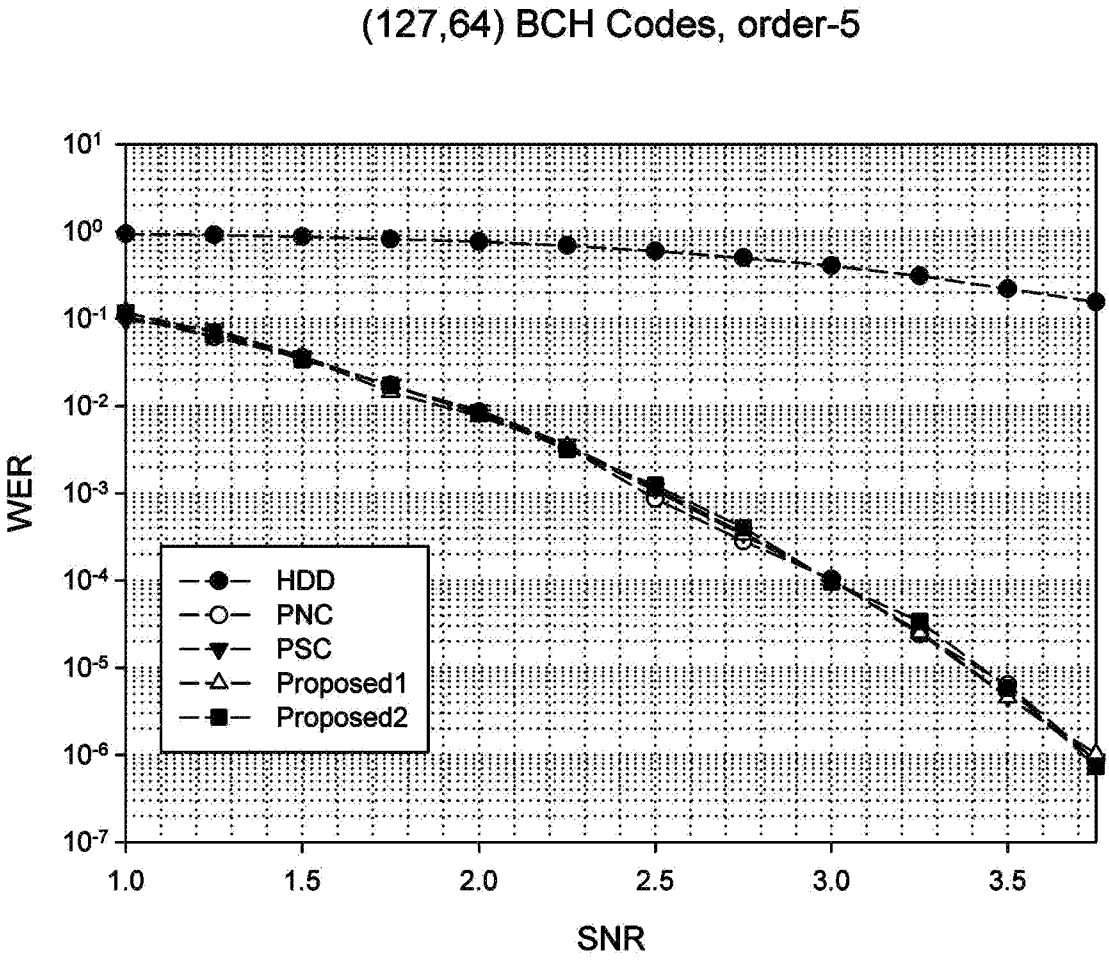
[도6g]


(127,64) BCH Codes, order-4
WER
SNR
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

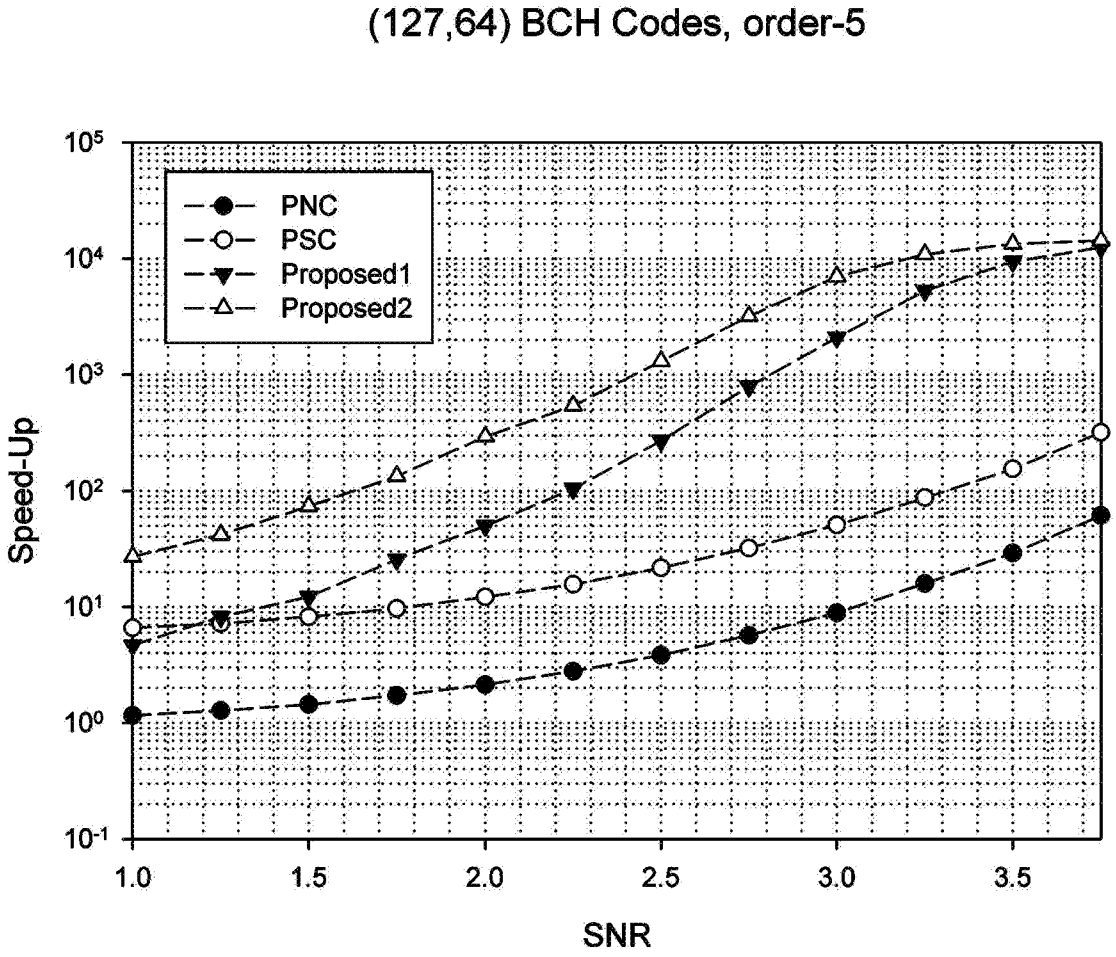
[도6h]


(127,64) BCH Codes, order-4
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
Speed-Up
SNR
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

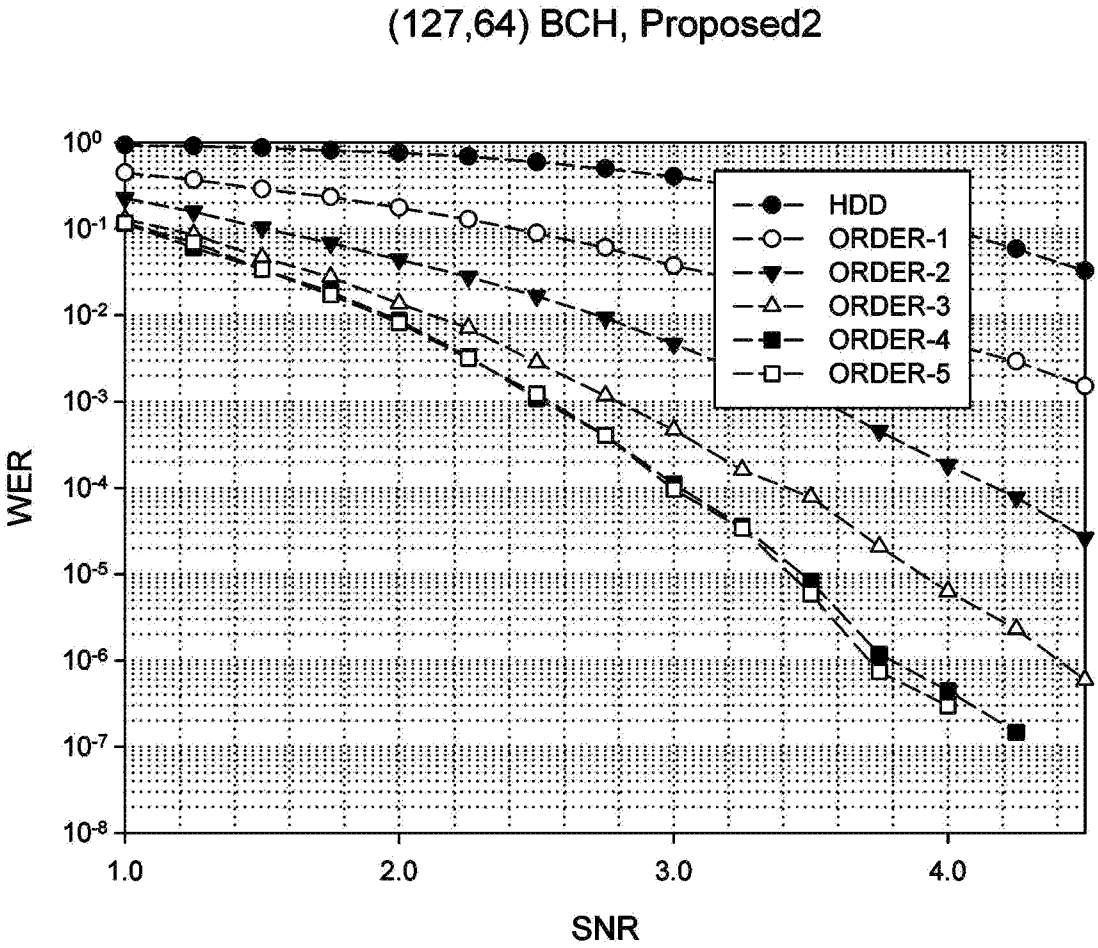
[도6i]


(127,64) BCH Codes, order-5
WER
SNR
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^1
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

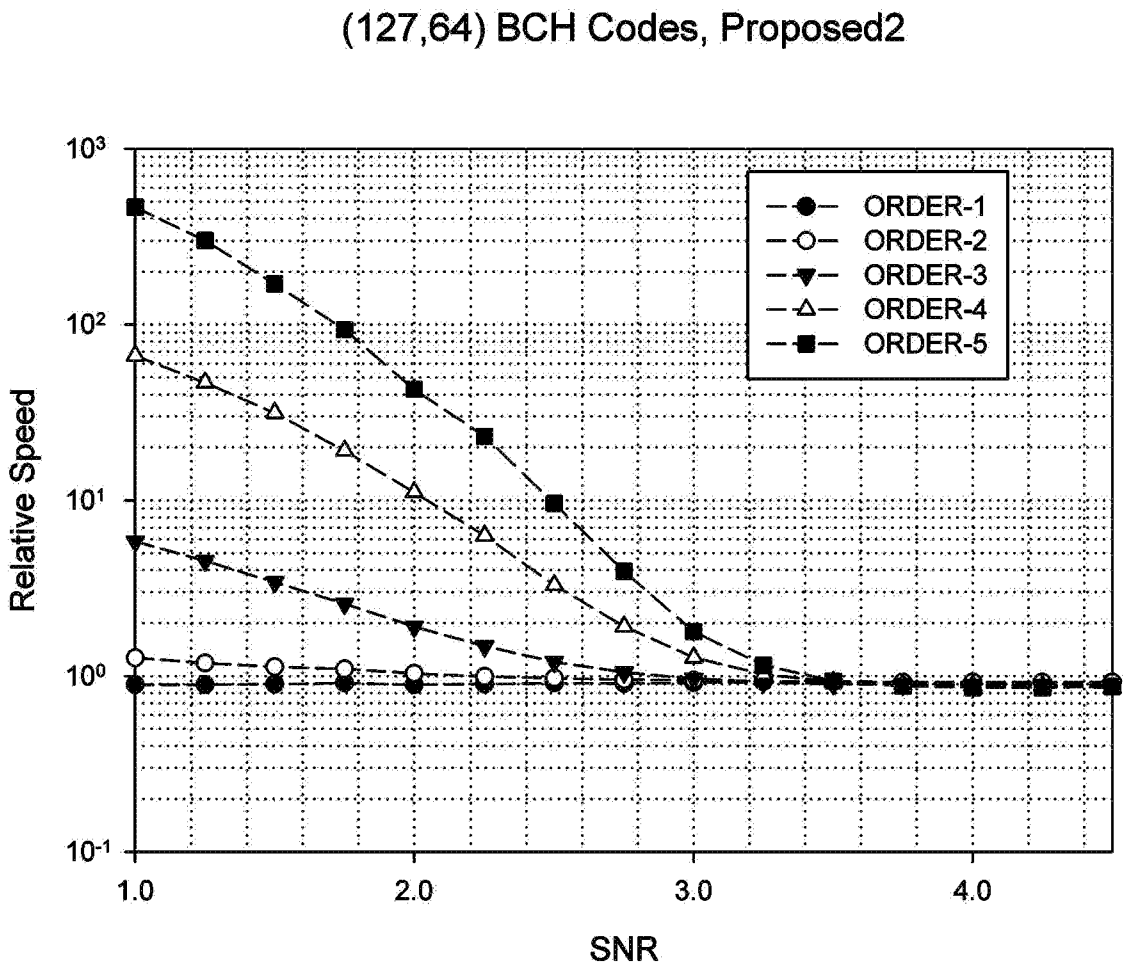
[도6j]


(127,64) BCH Codes, order-5
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
Speed-Up
SNR
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

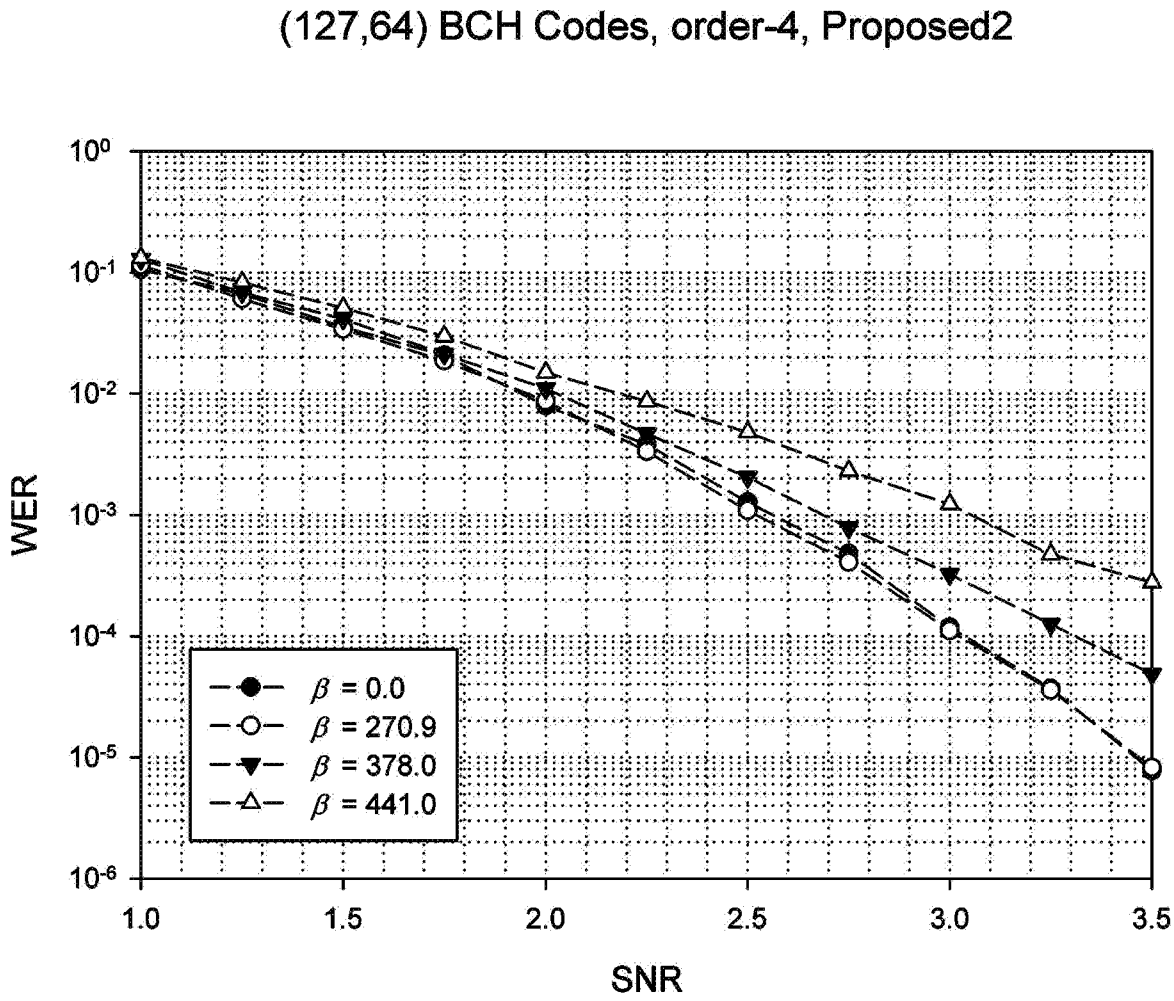
[도7a]


(127,64) BCH, Proposed2
WER
SNR
HDD
ORDER-1
ORDER-2
ORDER-3
ORDER-4
ORDER-5
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
1.0
2.0
3.0
4.0

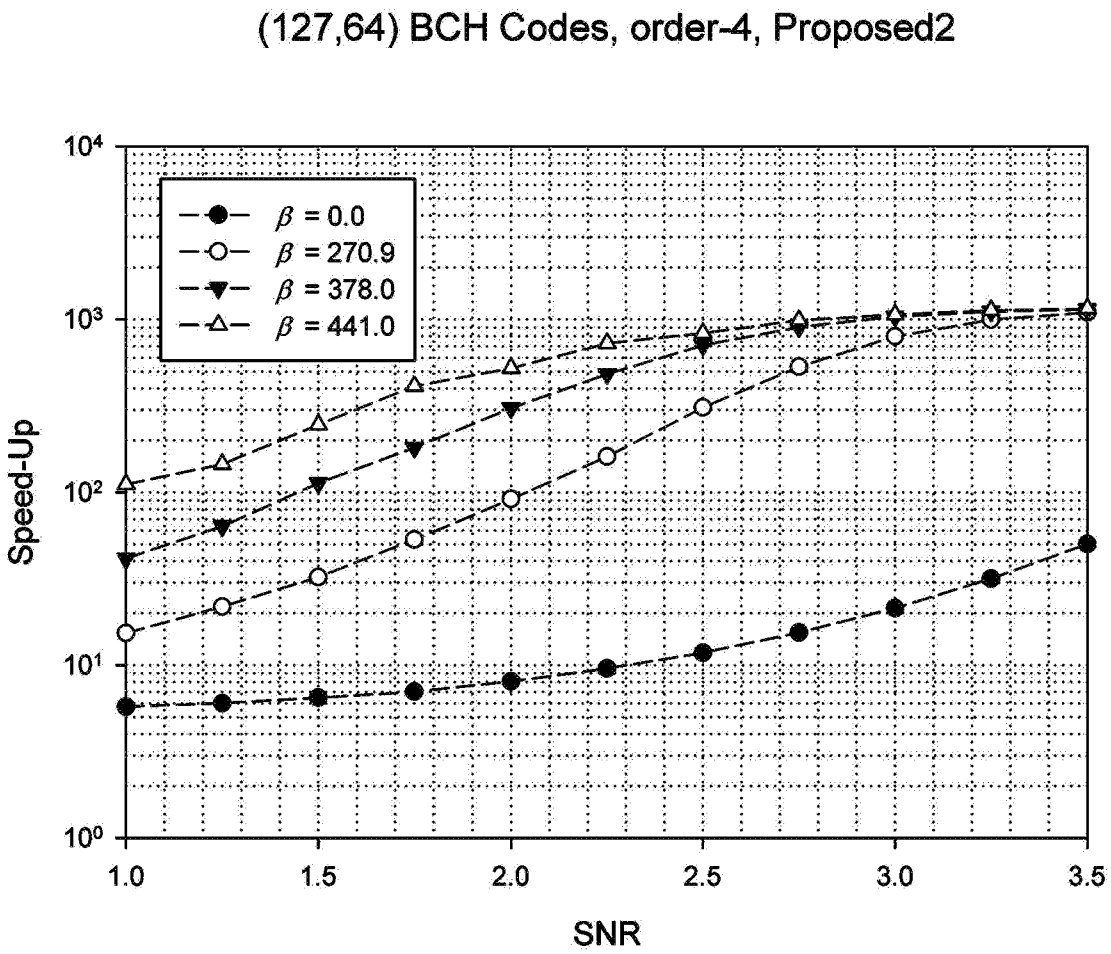
[도7b]


(127,64) BCH Codes, Proposed2
Relative Speed
SNR
ORDER-1
ORDER-2
ORDER-3
ORDER-4
ORDER-5
10³
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
1.0
2.0
3.0
4.0

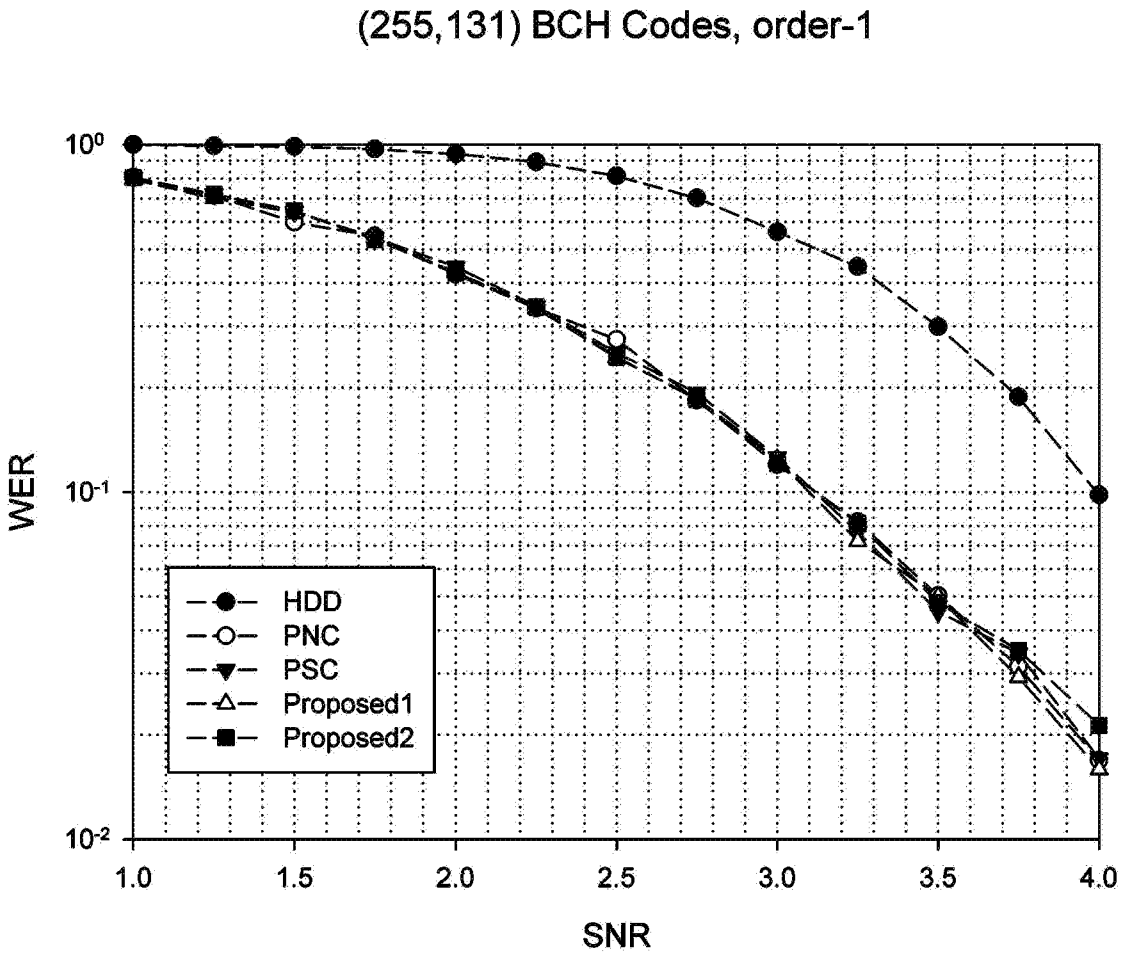
[도7c]


(127,64) BCH Codes, order-4, Proposed2
WER
SNR
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
β = 0.0
β = 270.9
β = 378.0
β = 441.0

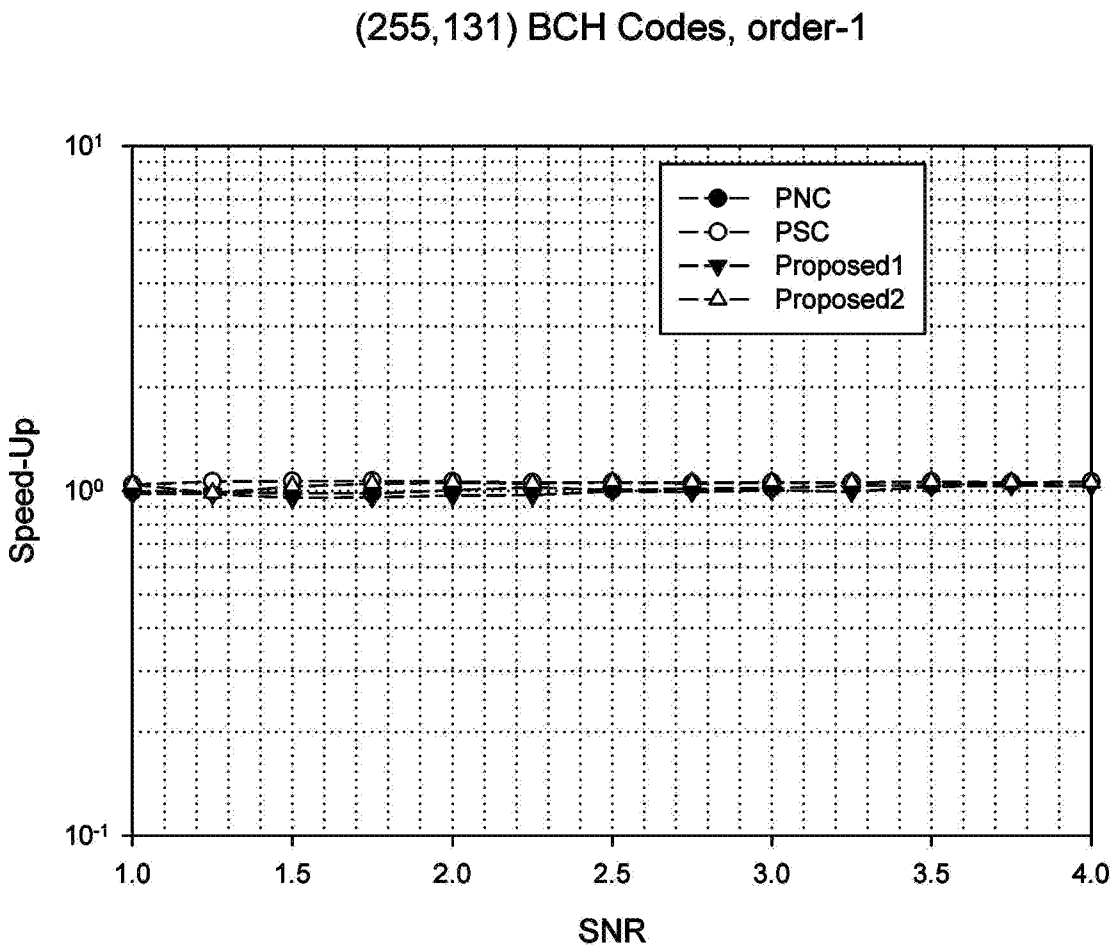
[도7d]


(127,64) BCH Codes, order-4, Proposed2
Speed-Up
SNR
β = 0.0
β = 270.9
β = 378.0
β = 441.0
10⁴
10³
10²
10¹
10⁰
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

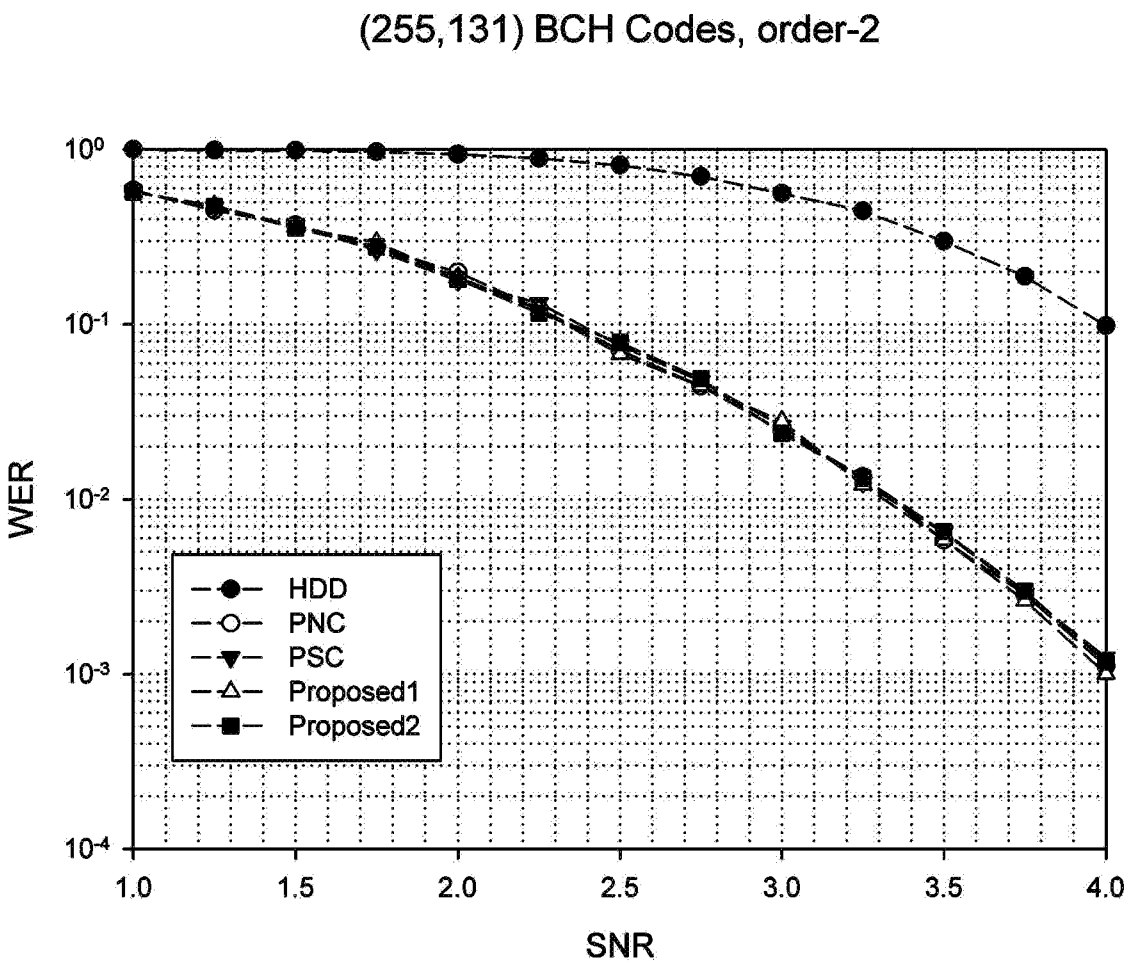
[도8a]


(255,131) BCH Codes, order-1
WER
SNR
10^0
10^{-1}
10^{-2}
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2

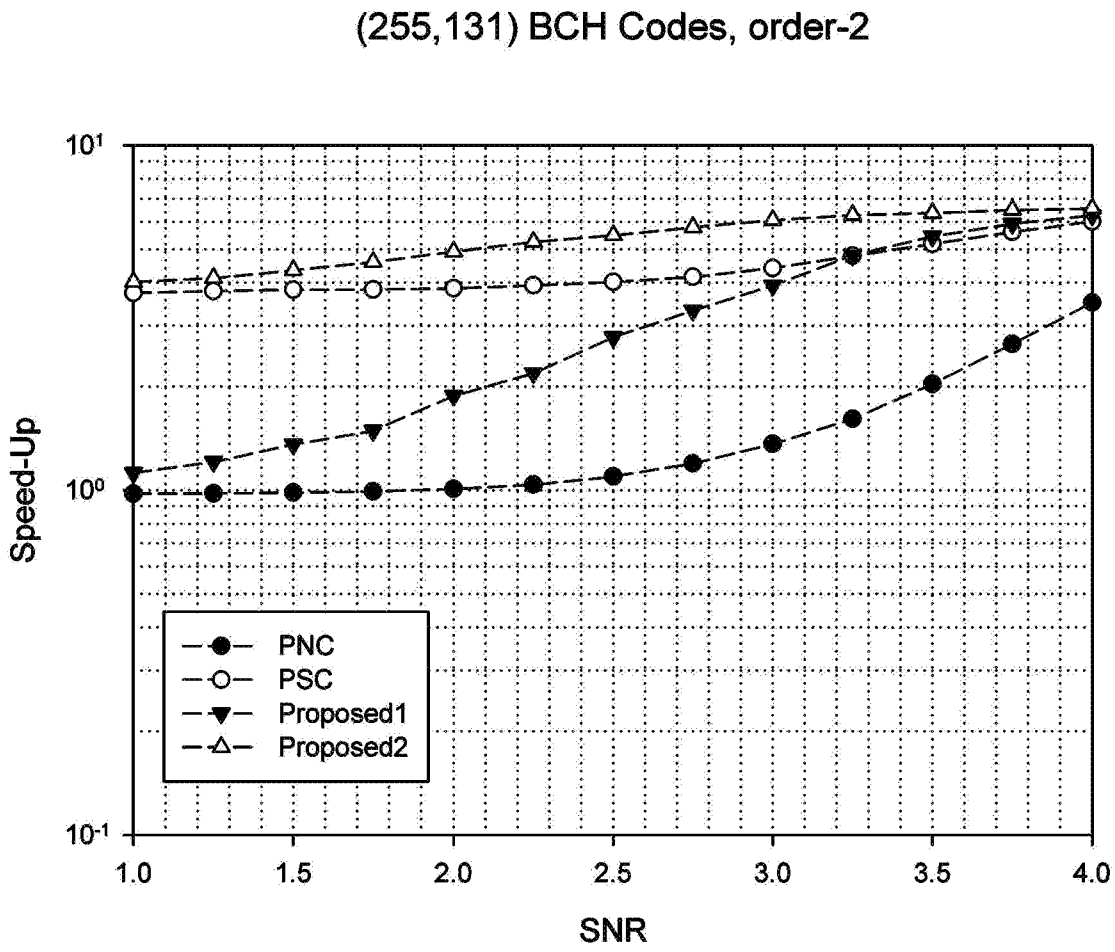
[도8b]


(255,131) BCH Codes, order-1
Speed-Up
SNR
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^1
10^0
10^-1
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

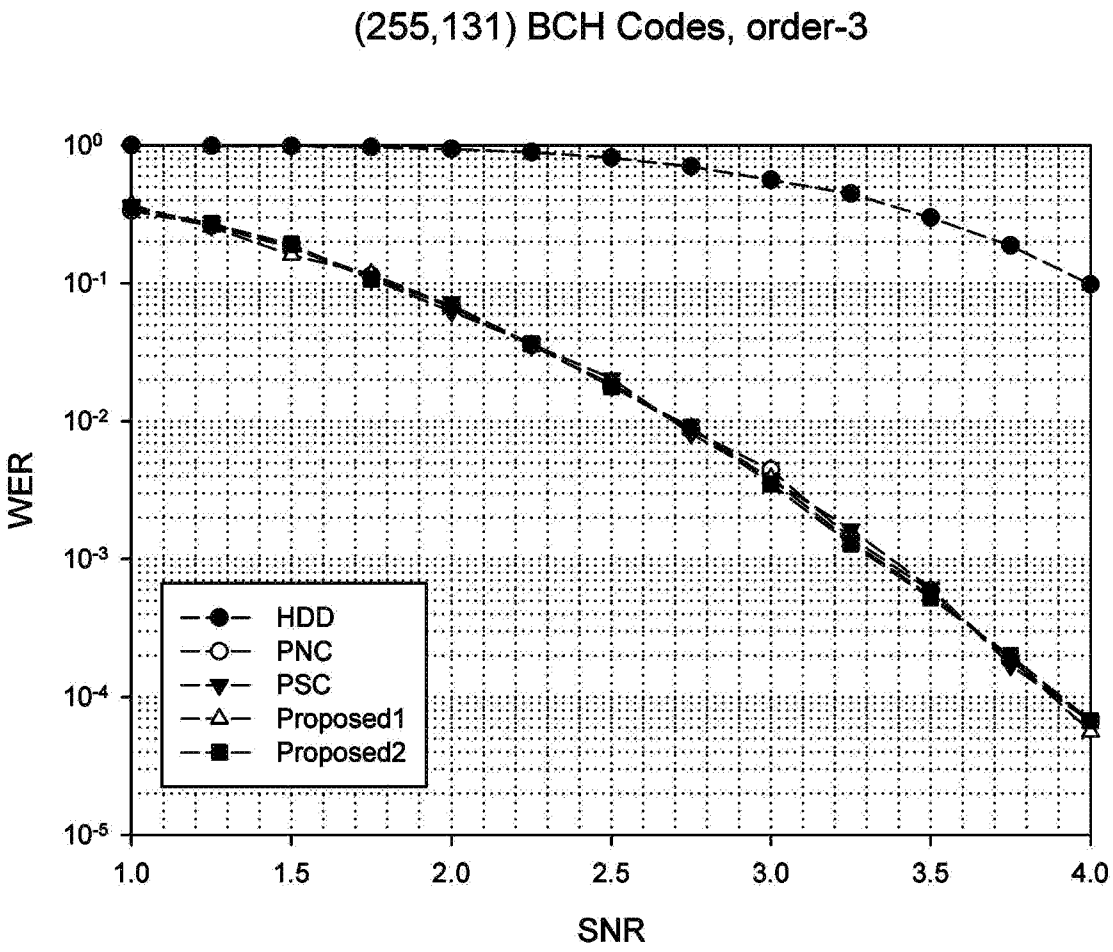
[도8c]


(255,131) BCH Codes, order-2
WER
SNR
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

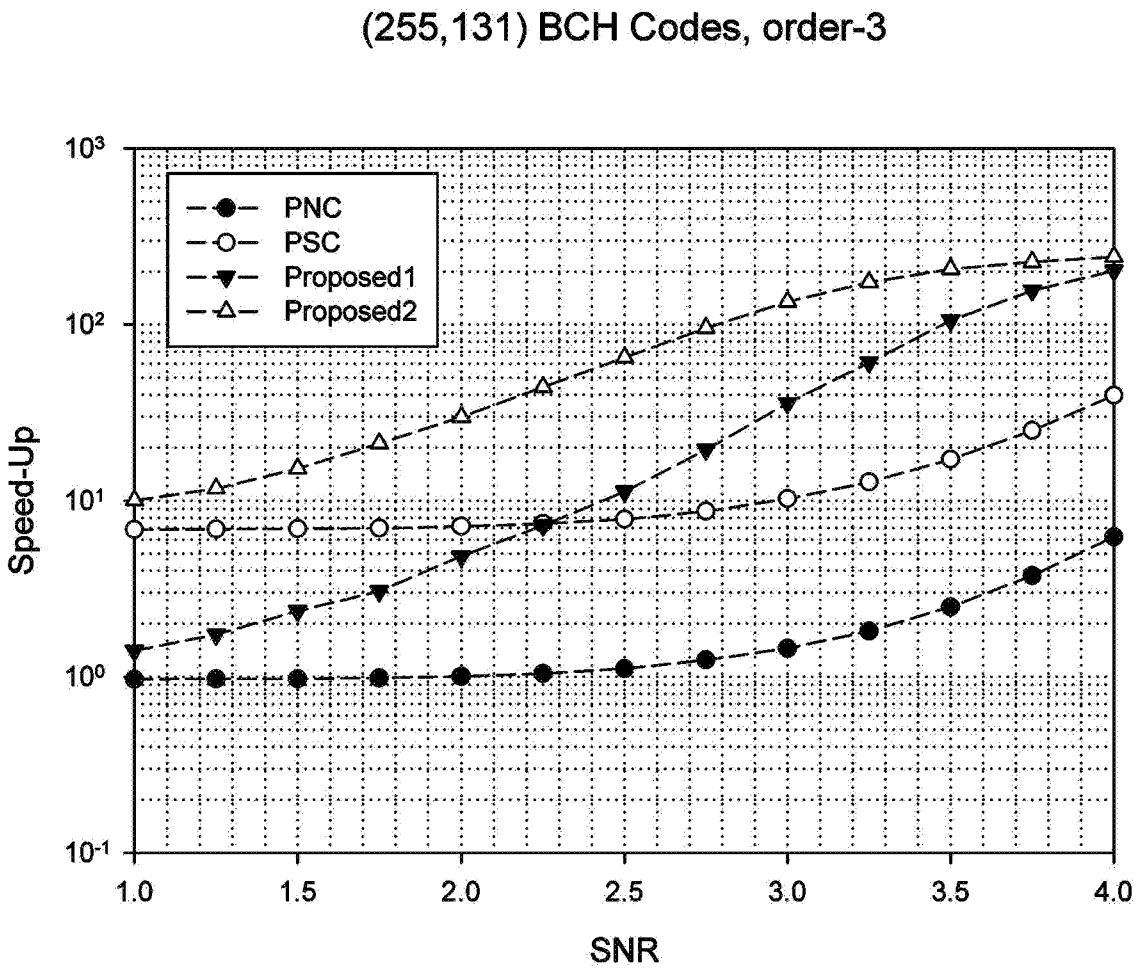
[도8d]


(255,131) BCH Codes, order-2
Speed-Up
SNR
10¹
10⁰
10⁻¹
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2

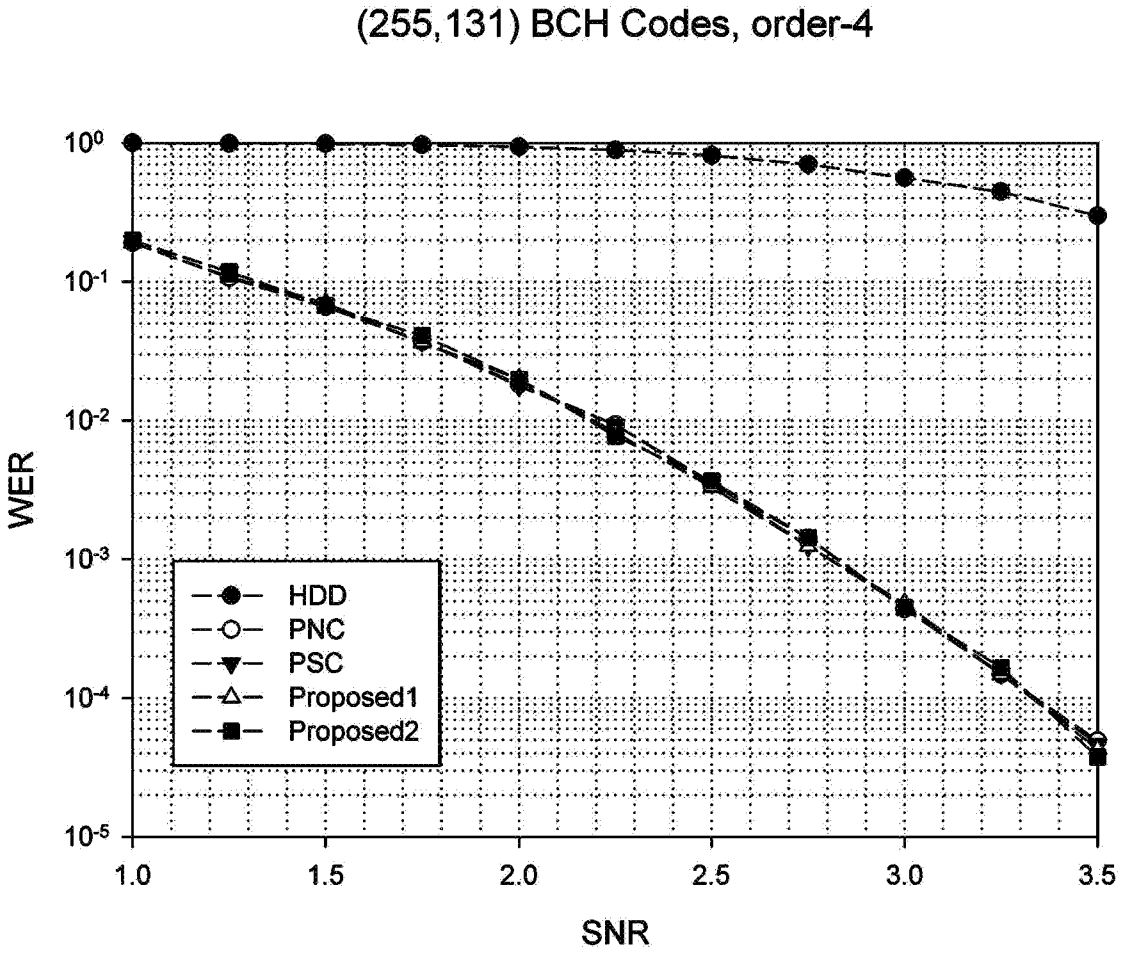
[도8e]


(255,131) BCH Codes, order-3
WER
SNR
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

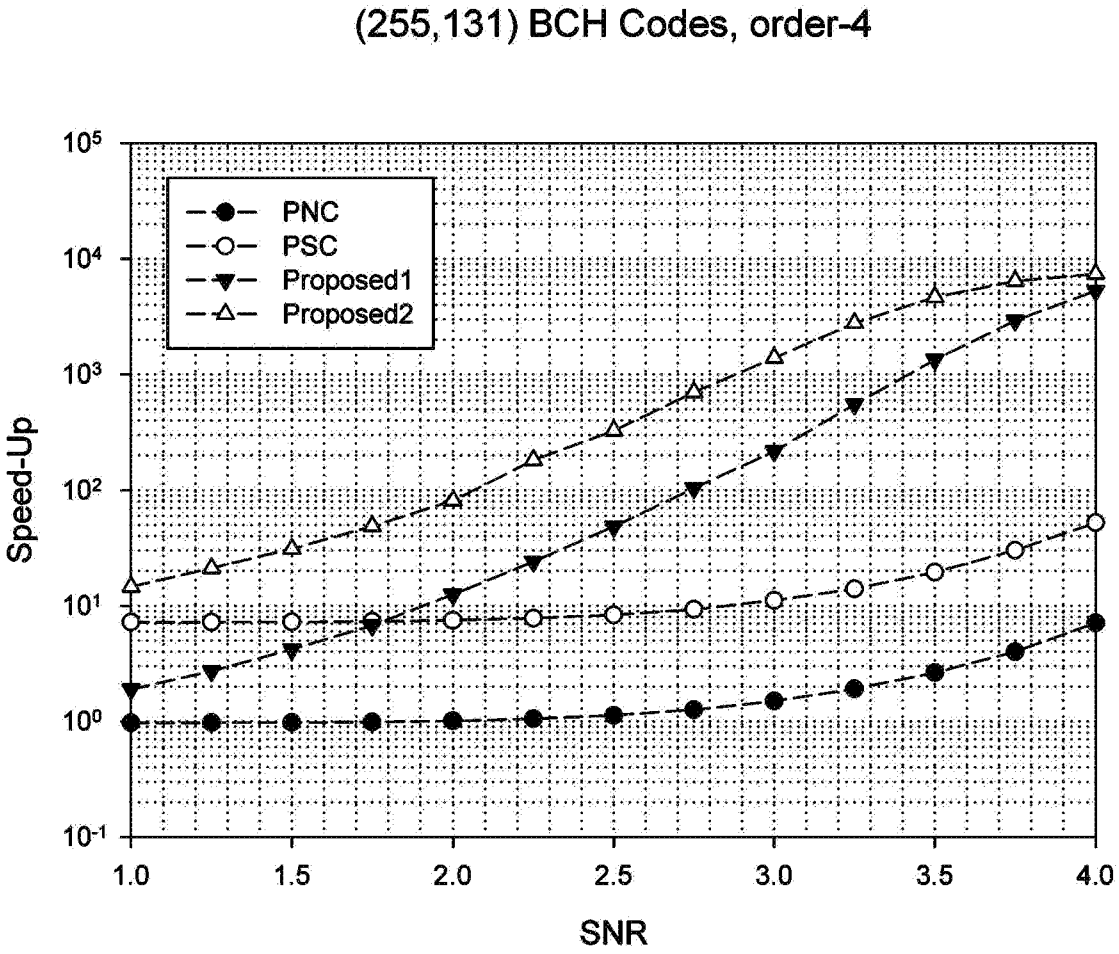
[도8f]


(255,131) BCH Codes, order-3
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
Speed-Up
SNR
10³
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

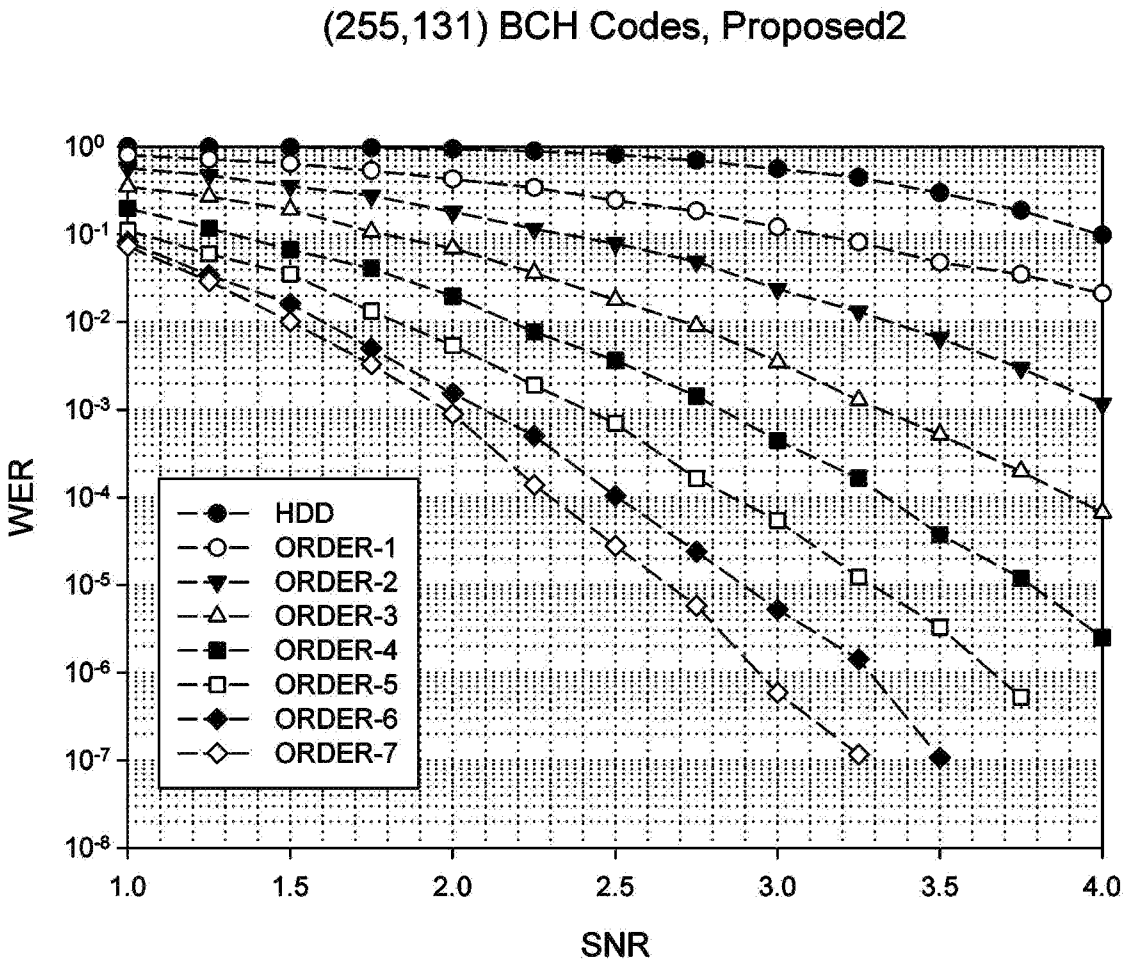
[도8g]


(255,131) BCH Codes, order-4
WER
SNR
HDD
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

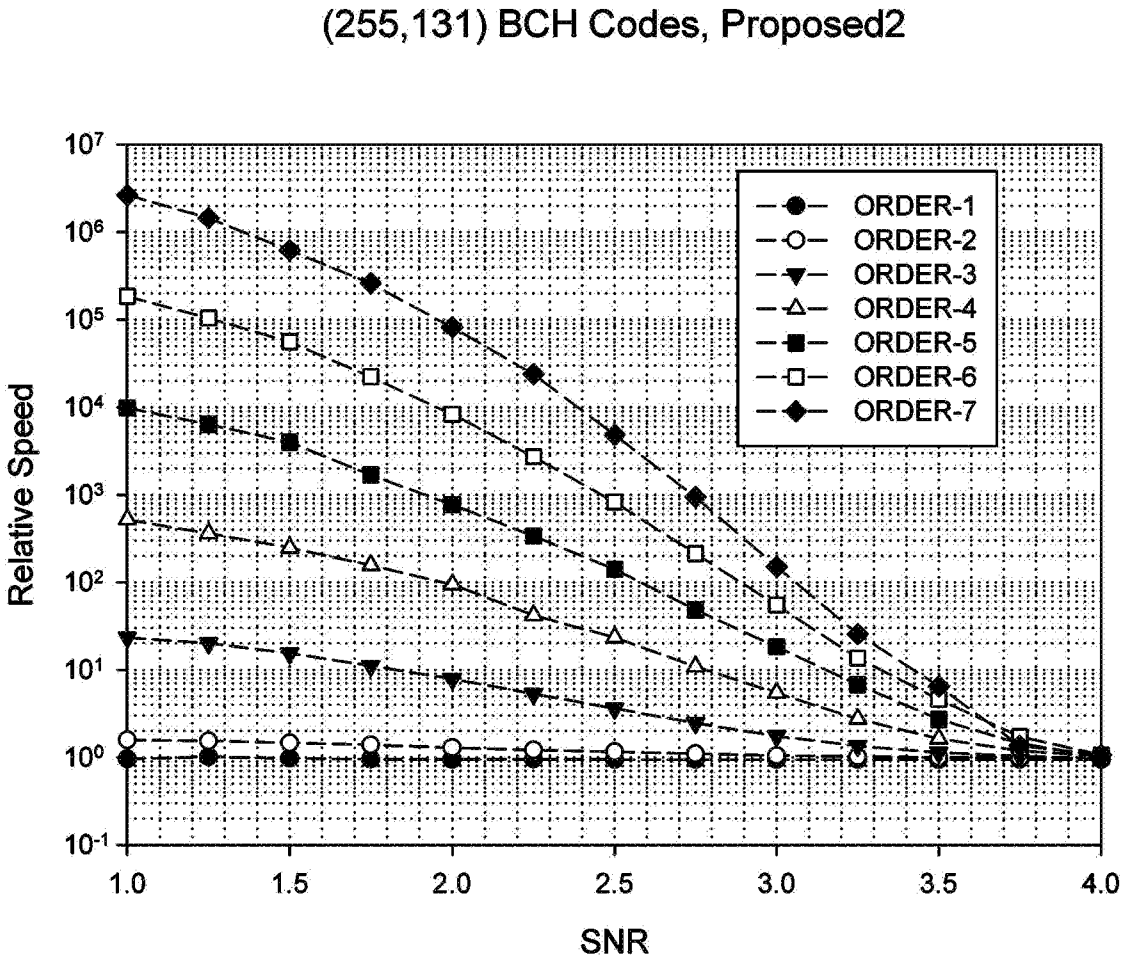
[도8h]


(255,131) BCH Codes, order-4
PNC
PSC
Proposed1
Proposed2
Speed-Up
SNR
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

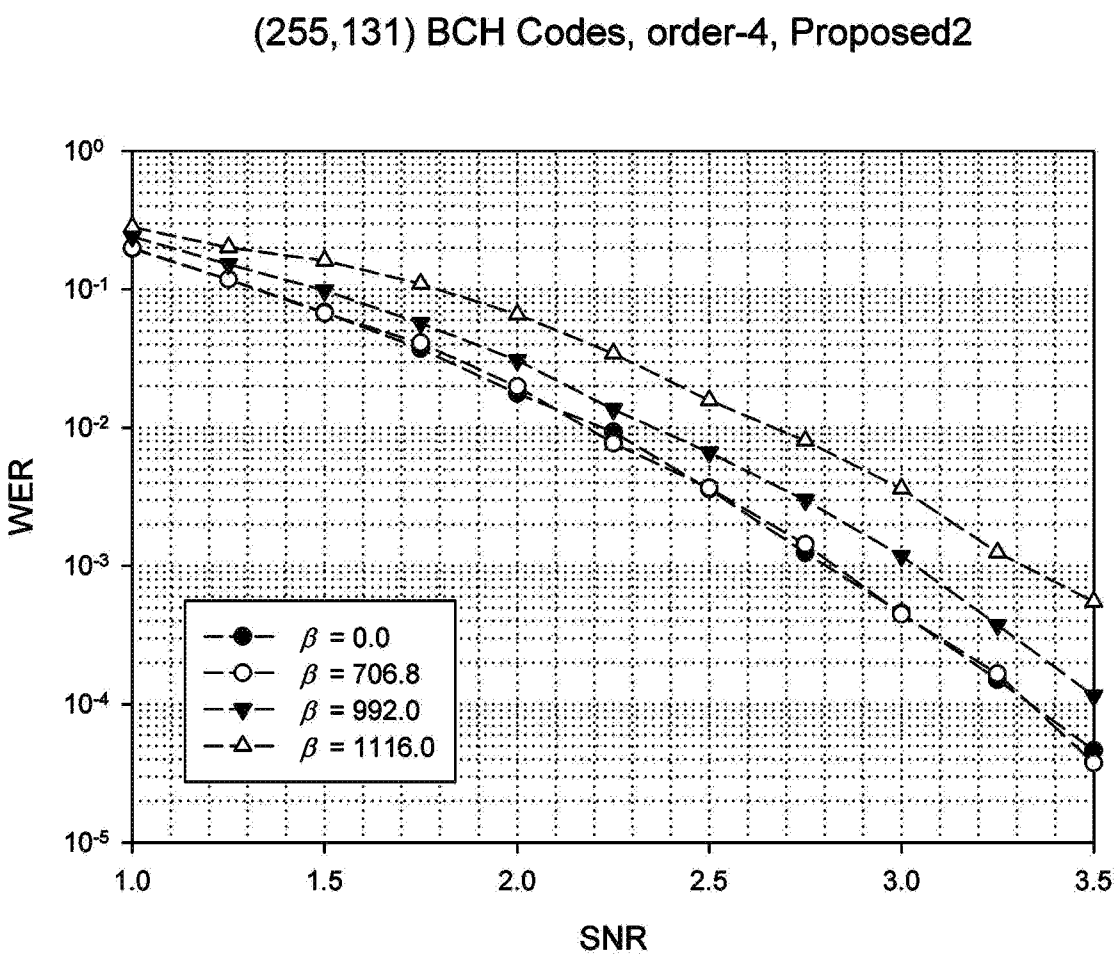
[도9a]


(255,131) BCH Codes, Proposed2
WER
SNR
HDD
ORDER-1
ORDER-2
ORDER-3
ORDER-4
ORDER-5
ORDER-6
ORDER-7
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

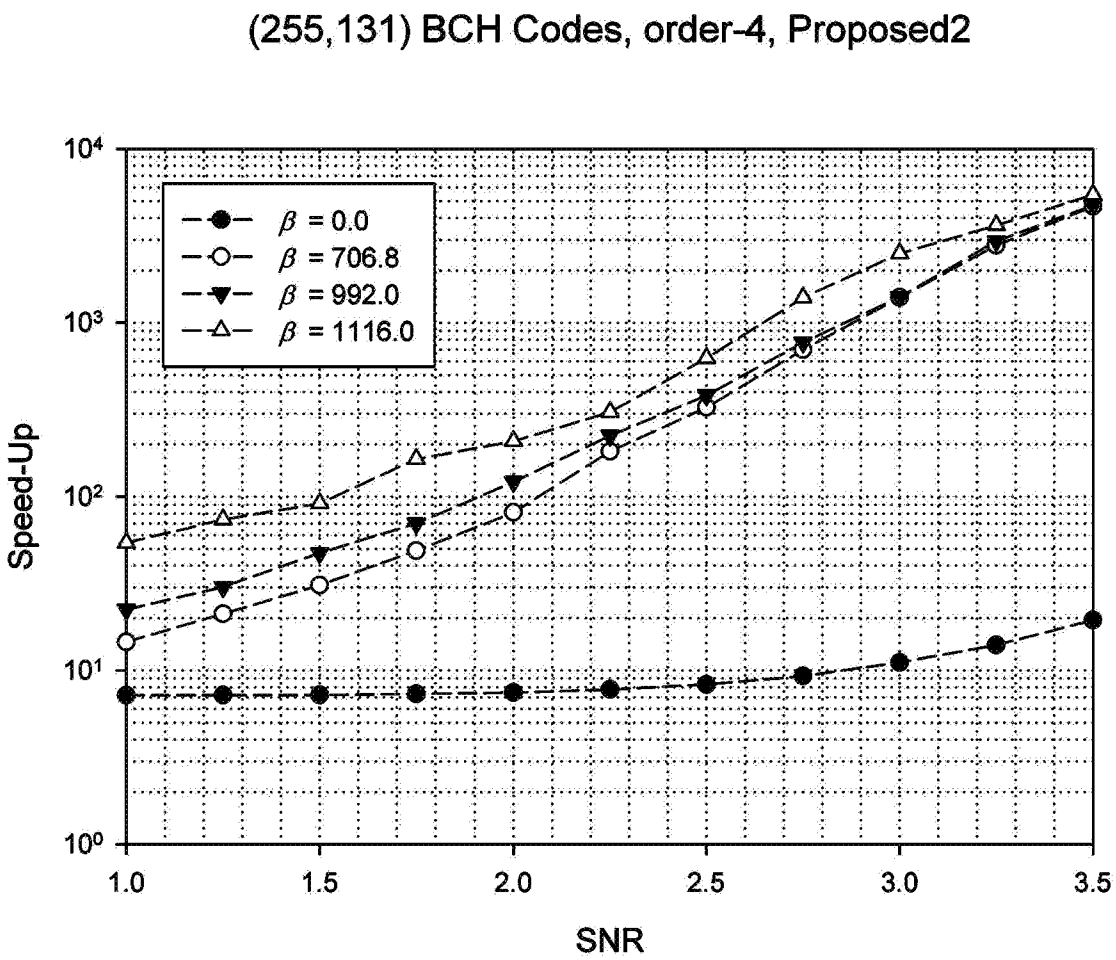
[도9b]


(255,131) BCH Codes, Proposed2
Relative Speed
SNR
ORDER-1
ORDER-2
ORDER-3
ORDER-4
ORDER-5
ORDER-6
ORDER-7
10^7
10^6
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

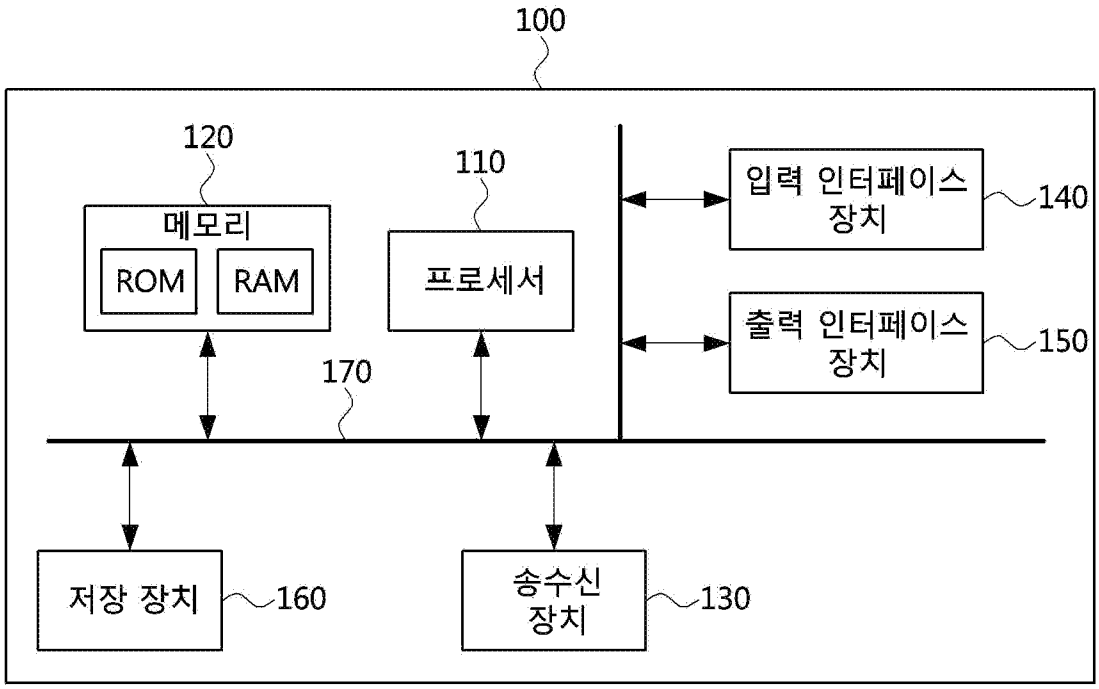
[도9c]


(255,131) BCH Codes, order-4, Proposed2
WER
SNR
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
β = 0.0
β = 706.8
β = 992.0
β = 1116.0

[도9d]


(255,131) BCH Codes, order-4, Proposed2
Speed-Up
SNR
β = 0.0
β = 706.8
β = 992.0
β = 1116.0
10⁴
10³
10²
10¹
10⁰
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5

[도10]


100
120
메모리
ROM
RAM
110
프로세서
입력 인터페이스 장치
140
출력 인터페이스 장치
150
170
저장 장치
160
송수신 장치
130

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2019/004753

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03M 13/43(2006.01)i, H03M 13/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03M 13/43; G11C 11/56; G11C 13/00; G11C 7/10; H03M 13/00; H03M 13/29; H03M 13/45; H04B 7/04; H04L 12/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: soft decision, hard decision, error, cost function, degree, size, sort, decoding

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1792868 B1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 02 November 2017 See paragraphs [0030], [0032], [0044]-[0045].	1-20
A	KR 10-2017-0041730 A (THOMSON LICENSING) 17 April 2017 See paragraphs [0058], [0148].	1-20
A	KR 10-1769134 B1 (LIG NEX1 CO., LTD. et al.) 30 August 2017 See paragraph [0048].	1-20
A	KR 10-1125497 B1 (QUALCOMM INCORPORATED) 20 March 2012 See paragraphs [0136]-[0138]; and figure 5.	1-20
A	EP 1443657 A1 (COMTECH TELECOMMUNICATIONS CORP.) 04 August 2004 See paragraphs [0015]-[0032].	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
05 DECEMBER 2019 (05.12.2019)	**06 DECEMBER 2019 (06.12.2019)**
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2019/004753

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1792868 B1	02/11/2017	CN 102479556 B	05/04/2017
		DE 102011054181 A1	31/05/2012
		JP 2012-113809 A	14/06/2012
		JP 6037373 B2	07/12/2016
		US 2012-0134207 A1	31/05/2012
		US 8576622 B2	05/11/2013
KR 10-2017-0041730 A	17/04/2017	CN 107155361 A	12/09/2017
		EP 2983297 A1	10/02/2016
		EP 3178167 A1	14/06/2017
		JP 2017-528796 A	28/09/2017
		US 2017-0243115 A1	24/08/2017
		US 2018-0046921 A1	15/02/2018
		US 9830553 B2	28/11/2017
		WO 2016-020280 A1	11/02/2016
KR 10-1769134 B1	30/08/2017	None	
KR 10-1125497 B1	20/03/2012	BR PI0618716 A2	06/09/2011
		CA 2628742 A1	31/05/2007
		CN 101322328 B	16/03/2016
		EP 1949561 A2	30/07/2008
		EP 2262128 A2	15/12/2010
		JP 2009-516960 A	23/04/2009
		JP 2013-031192 A	07/02/2013
		JP 5123199 B2	16/01/2013
		JP 5612041 B2	22/10/2014
		RU 2008124818 A	27/12/2009
		RU 2414062 C2	10/03/2011
		US 2007-0116143 A1	24/05/2007
		US 8467466 B2	18/06/2013
		WO 2007-062021 A2	31/05/2007
		WO 2007-062021 A3	18/10/2007
EP 1443657 A1	04/08/2004	AT 270795 T	15/07/2004
		CA 2344046 A1	06/04/2000
		EP 1118159 B1	07/07/2004
		JP 2002-526965 A	20/08/2002
		US 2003-106012 A1	05/06/2003
		US 6526538 B1	25/02/2003
		US 6763494 B2	13/07/2004
		WO 00-19616 A2	06/04/2000
		WO 00-19616 A3	16/11/2000

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2019/004753

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H03M 13/43(2006.01)i, H03M 13/00(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H03M 13/43; G11C 11/56; G11C 13/00; G11C 7/10; H03M 13/00; H03M 13/29; H03M 13/45; H04B 7/04; H04L 12/26

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 연판정(soft decision), 경판정(hard decision), 오류(error), 비용함수(cost fuction), 차수(degree), 크기(size), 정렬(sort), 복호(decoding)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-1792868 B1 (삼성전자주식회사) 2017.11.02 단락 [0030], [0032], [0044]-[0045] 참조.	1-20
A	KR 10-2017-0041730 A (톰슨 라이센싱) 2017.04.17 단락 [0058], [0148] 참조.	1-20
A	KR 10-1769134 B1 (엘아이지넥스원 주식회사 등) 2017.08.30 단락 [0048] 참조.	1-20
A	KR 10-1125497 B1 (퀄컴 인코포레이티드) 2012.03.20 단락 [0136]-[0138]; 및 도면 5 참조.	1-20
A	EP 1443657 A1 (COMTECH TELECOMMUNICATIONS CORP.) 2004.08.04 단락 [0015]-[0032] 참조.	1-20

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2019년 12월 05일 (05.12.2019)	2019년 12월 06일 (06.12.2019)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관
김성훈
전화번호 +82-42-481-8710

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2019/004753

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1792868 B1	2017/11/02	CN 102479556 B	2017/04/05
		DE 102011054181 A1	2012/05/31
		JP 2012-113809 A	2012/06/14
		JP 6037373 B2	2016/12/07
		US 2012-0134207 A1	2012/05/31
		US 8576622 B2	2013/11/05
KR 10-2017-0041730 A	2017/04/17	CN 107155361 A	2017/09/12
		EP 2983297 A1	2016/02/10
		EP 3178167 A1	2017/06/14
		JP 2017-528796 A	2017/09/28
		US 2017-0243115 A1	2017/08/24
		US 2018-0046921 A1	2018/02/15
		US 9830553 B2	2017/11/28
		WO 2016-020280 A1	2016/02/11
KR 10-1769134 B1	2017/08/30	없음	
KR 10-1125497 B1	2012/03/20	BR PI0618716 A2	2011/09/06
		CA 2628742 A1	2007/05/31
		CN 101322328 B	2016/03/16
		EP 1949561 A2	2008/07/30
		EP 2262128 A2	2010/12/15
		JP 2009-516960 A	2009/04/23
		JP 2013-031192 A	2013/02/07
		JP 5123199 B2	2013/01/16
		JP 5612041 B2	2014/10/22
		RU 2008124818 A	2009/12/27
		RU 2414062 C2	2011/03/10
		US 2007-0116143 A1	2007/05/24
		US 8467466 B2	2013/06/18
		WO 2007-062021 A2	2007/05/31
		WO 2007-062021 A3	2007/10/18
EP 1443657 A1	2004/08/04	AT 270795 T	2004/07/15
		CA 2344046 A1	2000/04/06
		EP 1118159 B1	2004/07/07
		JP 2002-526965 A	2002/08/20
		US 2003-106012 A1	2003/06/05
		US 6526538 B1	2003/02/25
		US 6763494 B2	2004/07/13
		WO 00-19616 A2	2000/04/06
		WO 00-19616 A3	2000/11/16