



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.
H03M 13/11 (2006.01)
H03M 13/19 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0039353
(43) 공개일자 2007년04월11일

(21) 출원번호 10-2005-0094585
(22) 출원일자 2005년10월07일
심사청구일자 2005년10월07일

(71) 출원인 삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(72) 발명자 최의영
서울 종로구 행촌동 2-1번지 동일하이츠빌라9차 301호
고영채
서울 성북구 상월곡동 동아아파트 111동 802호
노재호
서울 강남구 도곡1동 967번지 경남아파트 101-1301
박기홍
경기 수원시 권선구 고색동 890-84

(74) 대리인 정홍식

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법

(57) 요약

본 발명은 고속의 데이터를 전송하는 디지털 통신 시스템의 신뢰 전파(BP) 알고리즘을 사용하는 저밀도 패리티 검사(Low-Density Parity-Check) 부호 복호기에서 검사 노드 갱신 규칙(Check node update rule)을 지수 함수들의 합으로 근사시켜 연산의 복잡도를 낮추는 동시에 BP 알고리즘과 성능이 대등하도록 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법 및 장치에 관한 것으로서,

본 발명에 의하면, 검사 노드 갱신 시에 사용하는 규칙이 지수 함수의 합으로만 이루어져 있어서 가산기와 쉬프트 레지스터(shift register)로 용이하게 구현할 수 있고, 모든 구간에 대하여 단 하나의 식을 이용하기 때문에 룩업 테이블(look-up table)이 별도로 필요하지 않으며, 기존의 BP 알고리즘을 사용하는 경우에 비해 성능 열화가 거의 발생하지 않게 된다.

대표도

도 3

특허청구의 범위

청구항 1.

다수의 검사 노드가 각각의 변수 노드로부터 LLR(Log-Likelihood Ratio) 메시지를 수신하는 단계;

상기 각 검사 노드마다 상기 LLR 메시지를 직렬로 구성하는 단계; 및

상기 LLR 메시지를 근거로, 지수 함수들의 합으로 근사시킨 $g'(x)$ 함수를 포함하는 함수를 통해 상기 검사 노드의 갱신을 수행하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 $g'(x)$ 함수는 제1 텀(1st Term)과, 제2 텀(2nd Term), 및 제3 텀(3rd Term)의 합으로 구성된 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법.

청구항 3.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

$$g'(x) = e^{-|x|} - \frac{e^{-2|x|}}{2} + 2^{-\alpha}$$

상기 $g'(x)$ 함수는, 로 나타내는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법.

청구항 4.

제 2 항에 있어서,

상기 제3 텀의 지수 함수를 사용할 경우에, 검사 성능을 보장하는 α 값을 선택하는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법.

청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 지수 함수는 2의 지수 함수로 이루어진 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법.

청구항 6.

제 5 항에 있어서,

상기 2의 지수 함수는, $g'(x) = 2^{-(|x| \log_2 e)} - 2^{-(2|x| \log_2 e + 1)} + 2^{-\alpha}$ 로 나타내는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 고속의 데이터를 전송하는 디지털 통신 시스템의 신뢰 전파(Belief Propagation, 이하 BP) 알고리즘을 사용하는 저밀도 패리티 검사(Low-Density Parity-Check, 이하 LDPC) 부호 복호기에서 검사 노드 갱신 규칙(Check node update rule)을 지수 함수들의 합으로 근사시켜 연산의 복잡도를 낮추는 동시에 BP 알고리즘과 성능이 대등하도록 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법에 관한 것이다.

일반적으로, LDPC 부호는 도 1a에 도시된 바와 같이 부호(Code)를 정의하는 패리티 검사 행렬(Parity Check Matrix)의 각 행과 열에 '1'의 수가 매우 적은 부호로서, 검사 노드(Check Node)와 변수 노드(Variable Node), 그리고 이들을 연결하는 엣지(Edge)로 구성된 팩터 그래프(Factor Graph)에 의해 그 구조가 정의될 수 있는 부호이다.

또한, LDPC 부호는 BP 알고리즘을 사용하여 복호가 가능한데, 이 BP 알고리즘을 사용하면 매우 큰 부호어도 실용적으로 정확하게 복호할 수 있고, 완전 병렬 처리를 가능하게 하기 때문에 처리 속도도 매우 높일 수 있다. 이 BP 알고리즘을 사용하는 복호기는 채널로부터의 우도(Likelihood)를 이용할 수 있는 연관정 복호기로 제한적인 거리 복호기(Bounded Distance Decoder)보다 뛰어난 성능을 나타낸다. 이렇게 우수한 복호기가 존재하기 때문에 부호의 길이를 크게 늘일 수 있고 블록 크기를 매우 크게 하면 Shannon의 채널 용량 한계까지 근접하는 성능을 보이게 된다. 또한, 블록 크기를 크게 하면 최소 거리(minimum distance)가 증가하게 되어 최소 거리가 작은 터보 부호에서 보이던 검출되지 않는 오류는 거의 나타나지 않게 된다.

한편, BP 알고리즘은 팩터 그래프 상에서 서로 연결된 각 노드 사이의 엣지를 통해 전달된 메시지 값이 각각의 노드들에서 새로운 값으로 반복적으로 갱신(update)되는 과정을 통해 이루어진다. 이때 한 번의 반복(iteration) 과정은 각각의 노드들에서의 값이 모두 갱신되었을 때로 정의된다. 이진(Binary) 통신 시스템일 경우 메시지는 일반적으로 로그-우도율(LLR:Log-Likelihood Ratio)을 이용하여 표현되며 아래 수학적 식 1과 같다.

$$LLR(x) = \log \frac{P(x=1)}{P(x=0)}$$

이때, BP 알고리즘에서 변수 노드에서의 갱신 규칙은 합으로만 이루어져 있어 구현이 용이하나, 검사 노드에서의 갱신 규칙은 하이퍼 볼릭 탄젠트(Hyper Bolic Tangent) 및 많은 곱셈 연산이 존재한다. 따라서, BP 알고리즘은 합곱(Sum-Product) 알고리즘이라 칭하기도 한다.

다음 수학적 식 2는 임의의 검사 노드 C_i 에서 C_i 에 엣지로 연결되어 있는 d_c 개의 변수 노드들($V_0, V_1, \sim V_{d_c-2}, V_{d_c-1}$) 중 V_j 로의 메시지를 갱신하는 규칙이며 그 갱신 과정을 도 1b에 도시하였다.

$$LLR(\lambda_{c_i \rightarrow v_j}) = (-1)^{d_c} \cdot 2 \tanh^{-1} \left(\prod_{j' \in N(c_i) \setminus j} \tanh \left(\frac{1}{2} LLR(\lambda_{v_{j'} \rightarrow c_i}) \right) \right)$$

도 1b에서, 검사 노드 C_i 와 d_c 개의 변수 노드들($V_0, V_1, \sim V_{d_c-2}, V_{d_c-1}$)을 잇는 엣지 상의 메시지들을 모두 갱신해야 하므로 수학적 식 2를 d_c 회 수행해야 하며, 이는 하나의 검사 노드 당 $d_c(d_c-1)$ 회의 곱연산이 요구되는 것과 같다. 이와는 다르게 검사 노드 C_i 와 d_c 개의 변수 노드들($V_0, V_1, \sim V_{d_c-2}, V_{d_c-1}$)을 잇는 엣지 상의 메시지들을 도 1c와 같이 도 1d의 수식을 사용하는 검사 노드를 직렬 구성하여 갱신할 수도 있다. 이는 전자의 방식보다 적은 곱연산으로 갱신이 가능하다.

도 1c에서의 각 검사 노드의 갱신값은 도 1d에 도시된 Sign·Min 함수와 도 1d의 (A)와 (B)에 도시된 함수 $g(x)$ 의 합으로 표시할 수 있다. 이때, 함수 $g(x)$ 는 다음 수학적 식 3과 같이 표현된다.

$$g(x) = \log(1 + e^{-|x|})$$

한편, 도 1d의 수식을 이용한 도 1c와 같은 검사 노드 갱신 방법이 수학적 2를 사용하는 BP 알고리즘에 비해 적은 연산을 요구하지만 여전히 구현하기 어려운 함수 $g(x)$ 의 계산을 포함하고 있다.

따라서, 이러한 $g(x)$ 의 구현을 용이하게 하기 위한 여러가지 방법이 연구되어 왔다. 도 1d의 계산을 용이하게 하기 위해 $g(x)$ 를 '0'이라 놓고 두 입력값의 부호와 최소값만 취하는 Sign·Min 방식(UMP-BP라고 함), Sign·Min 방식을 보정하기 위해 1 보다 큰 어떠한 값으로 나누어 주는 Normalize-BP 알고리즘도 있지만 기존의 BP 알고리즘에 비해 성능 열화가 심하다는 문제점이 있다.

한편, $g(x)$ 를 구현하기 쉽게 $g'(x)$ 로 근사시키는 방법으로, 양자(Quantization) 방식, 선형 근사(Linear Approximation), 및 구분(Piecewise) 선형 근사 방식 등이 있다. 이 중에 구분 선형 근사 방식은 기존의 방법들에 비해 성능이 뛰어나 BP 알고리즘에 유사한 성능을 보이지만, 구간마다 다른 함수를 사용하고 룩업(Look-up) 테이블이 필요하다는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

상기 문제점을 해결하기 위해 본 발명은, 고속의 데이터를 전송하는 디지털 통신 시스템의 신뢰 전파(BP) 알고리즘을 사용하는 저밀도 패리티 검사(LDPC) 부호 복호기에서 검사 노드 갱신 규칙을 지수 함수들의 합으로 근사시켜 연산의 복잡도를 낮추는 동시에 BP 알고리즘과 성능이 대등하도록 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

발명의 구성

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법은, 다수의 검사 노드가 각각의 변수 노드로부터 LLR 메시지를 수신하는 단계; 상기 각 검사 노드마다 상기 LLR 메시지를 직렬로 구성하는 단계; 및 지수 함수들의 합으로 근사시킨 $g'(x)$ 함수를 포함하는 함수를 통해 상기 검사 노드의 갱신을 수행하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기 $g'(x)$ 함수는 제1 텀(Term)과, 제2 텀, 및 제3 텀의 합으로 구성되고, 상기 $g'(x)$ 함수는,

$$g'(x) = e^{-|x|} - \frac{e^{-2|x|}}{2} + 2^{-\alpha}$$

로 나타내는 것을 특징으로 한다.

상기 $g'(x)$ 함수는 2의 지수 함수로 이루어지며, 상기 제3 텀의 지수 함수를 사용할 경우에, 검사 성능을 보장하는 α 값을 선택하는 것을 특징으로 한다.

상기 2의 지수 함수는, $g'(x) = 2^{-(|x| \log_2 e)} - 2^{-(2|x| \log_2 e + 1)} + 2^{-\alpha}$ 로 나타내는 것을 특징으로 한다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다.

우선 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다.

또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

도 2는 본 발명을 설명하기 위한 저밀도 패리티 검사 복호기의 기능 블록을 도시한 기능 블록도이다.

도 2에 도시된 바와 같이, LDPC 복호기(200)는, C To V 엣지메시지 메모리(Check Node To Variable Node Edge Message Memory:210), 변수노드 처리부(Variable Node Processor:220), 출력 버퍼(Output Buffer:230), 복호 제어부(Decoder Control Module:240), 검사노드 처리부(Check Node Processor:250), 및 V To C 엣지메시지 메모리(Variable Node To Check Node Edge Message Memory:260)를 포함한 구성을 갖는다.

즉, LDPC 복호기(200)는, 각 엣지를 통해 수신된 부호어의 각 비트에 대해 해당 비트가 '0'이거나 '1'이었을 확률을 계산하게 된다. LDPC 복호기(200)가 계산한 확률 정보를 '메시지'라고 부르며, 패리티 검사 행렬에서 정의된 각 패리티를 통해 메시지의 품질을 검사할 수 있다.

이때, C To V 엣지메시지 메모리(210)는 검사 노드에서 엣지를 통해 변수 노드로 전달되는 메시지를 저장하고, V To C 엣지메시지 메모리(260)는 변수 노드에서 엣지를 통해 검사 노드로 전달되는 메시지를 저장하게 된다.

한편, 각 변수 노드들은 입력된 부호화 심볼들의 LLR 값을 수신하며, 변수노드 처리부(220)는 각 변수 노드들을 통해 수신된 LLR 값을 변수 노드 갱신 규칙에 따라 갱신하여 검사 노드로 전달한다. 이에 대하여, 검사노드 처리부(250)는 각 변수 노드로부터 수신한 부호화 심볼들을 본 발명에 따른 검사 노드 갱신을 위해, 도 1c처럼 각 검사 노드에 대하여 직렬로 구성한 후, 도 1d의 계산 중 함수 $g(x)$ 를 지수 함수들의 합으로 근사시킨 $g'(x)$ 로 대체하여 연산한 결과를 다시 변수 노드에게 전송해 준다.

출력 버퍼(230)는 변수 노드의 각 부호화 심볼들을 임시로 저장한다.

그리고, 복호 제어부(240)는 변수노드 처리부(220)와 검사노드 처리부(250)를 포함하는 각 처리부를 제어하여 메시지 반복 갱신이 이루어지도록 한다.

본 발명의 실시예에 따른 도 3에 도시된 갱신에 이용되는 함수는, 수학적 3과 같이 전개되는 로그 형태의 $g(x)$ 함수를 테일러(Taylor)의 정리에 따라 도 3의 (a)와 같이 지수 형태의 함수로 치환하고, 도 3의 (a)에서 3 번째 텀(Term) 부분(A)을 도 3의 (b)와 같이 2^{-a} (B)로 근사시켜 3 개의 텀(Term)으로 이루어진 함수를 얻게 된다. 이어, 도 3의 (b)와 같이 표시된 함수에서 a 를 " $4|x| + 2$ "로 치환하여 정리하면 도 3의 (c)에 도시된 2의 지수 함수로 표시할 수 있다. 이는 쉬프트 레지스터(Shift Register)만으로 값을 얻을 수 있어 편리하다. 따라서, 본 발명의 갱신에 따른 함수는 도 1d의 함수 $g(x)$ 를 기하급수적(Exponential) 지수 함수에 근사시킨 것이며, 도 3에 도시된 바와 같이 지수 함수들의 합으로만 이루어진 함수이다.

따라서, LDPC 복호기(200)에서 검사 노드는 각 변수 노드들로부터 LLR 메시지를 수신하고, 각 메시지들을 근거로 연산을 수행한다. 즉, LDPC 복호기(200)는 도 1c처럼 각 검사 노드에 대하여 직렬로 구성한 후 도 1d의 계산 중 함수 $g(x)$ 를 도 3에 도시된 지수 함수들의 합으로 근사시킨 $g'(x)$ 함수에 따라 갱신을 수행한다. 이때, $g'(x)$ 함수는 도 3의 (b)에 도시된 바와 같이 제1 텀과 제2 텀 및 제3 텀으로 이루어지며, 도 3의 (c)와 같이 2의 지수 함수로 나타낼 수 있다. 또한, $g'(x)$ 함수에서, 제1 텀(Term)은 늘 사용하게 되고, 제2 텀과 제3 텀은 필요에 따라 사용하게 된다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따라 검사 노드의 갱신에 적용된 함수 $g'(x)$ 의 시험 결과 그래프를 도시한 것으로서, 본 발명에 따른 지수 형태의 함수에서 제1 텀, 제2 텀, 및 제3 텀에 대한 함수의 결과값이 원래의 함수 $g(x)$ 에 근사되고 있음을 보여 준다.

도 5는 본 발명에 따른 갱신 알고리즘과 다른 알고리즘의 프레임 오류율(FER) 그래프를 도시한 것이며, 도 6은 본 발명에 따른 갱신 알고리즘과 다른 알고리즘의 비트 오류율(BER) 그래프를 도시한 것이다.

도 5 및 도 6은 IEEE 802.11n 기술 그룹의 TGn Sync 행렬을 이용하고, 부호율(Code Rate) R은 1/2, 코드워드 크기(Cordword Size)는 1728, 블록 크기(Block Size)는 72로 설정하고, 가산 백색 가우스 분포 잡음(AWGN:Additive White Gaussian Noise)과 BPSK(Binary Phase Shift Key) 등을 가정하여 얻은 시험 결과이다. 또한, 도 5는 BP와, Piecewise-linear 근사, 본 발명에 따른 갱신 함수의 제1 텀, 제2 텀, 제3 텀에 근사, Normalized BP, 및 UMP-BP에 대한 프레임 오류율(FER:Frame Error Rate)을 도시한 것으로서, 본 발명의 갱신 함수에 따른 제1 텀 내지 제3 텀에 대한 결과 값이 BP 알고리즘에 의한 성능 결과 값에 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 그리고, 도 6에 도시된 비트 오류율(Bit Error Rate)도 마찬가지로 도 3에 도시된 본 발명의 갱신 함수에 따른 제1 텀 내지 제3 텀까지에 대한 결과 값이 BP 알고리즘에 의한 성능 결과 값에 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

전술한 바와 같이 본 발명에 의하면, 고속의 데이터를 전송하는 디지털 통신 시스템의 신뢰 전파(BP) 알고리즘을 사용하는 저밀도 패리티 검사(LDPC) 부호 복호기에서 검사 노드 갱신 규칙을 지수 함수들의 합으로 근사시켜 연산의 복잡도를 낮추는 동시에 BP 알고리즘과 성능이 대등하도록 하는 저밀도 패리티 검사 복호기에서의 검사 노드 갱신 방법을 실현할 수 있다.

이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다.

따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다.

본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

발명의 효과

이상에서 설명한 바와 같이 본 발명에 의하면, 검사 노드 갱신 시에 사용하는 규칙이 지수 함수의 합으로만 이루어져 있어서 가산기와 쉬프트 레지스터(shift register)로 용이하게 구현할 수 있고, 모든 구간에 대하여 단 하나의 식을 이용하기 때문에 룩업 테이블(look-up table)이 별도로 필요하지 않으며, 기존의 BP 알고리즘을 사용하는 경우에 비해 성능 열화가 거의 발생하지 않게 된다.

도면의 간단한 설명

도 1a는 패리티 검사 행렬 및 팩터 그래프의 구조를 도시한 도면,

도 1b는 BP 알고리즘에서 검사 노드의 메시지 갱신 과정을 도시한 도면,

도 1c는 검사 노드의 직렬식 갱신 과정을 도시한 도면,

도 1d는 검사 노드의 갱신 수식을 도시한 도면,

도 2는 본 발명을 설명하기 위한 저밀도 패리티 검사 복호기의 기능 블록을 도시한 기능 블록도,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 검사 노드 갱신 규칙에서 로그 형태의 보정 함수를 지수 함수로 치환하여 얻는 수식을 도시한 도면,

도 4는 본 발명의 실시예에 따라 검사 노드의 갱신에 적용된 함수의 시험 결과 그래프를 도시한 도면,

도 5는 본 발명에 따른 갱신 알고리즘과 다른 알고리즘의 프레임 오류율(FER) 그래프를 도시한 도면,

도 6은 본 발명에 따른 갱신 알고리즘과 다른 알고리즘의 비트 오류율(BER) 그래프를 도시한 도면이다.

< 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 >

200 : 저밀도 패리티 검사 복호기 210 : C To V 옛지메시지 메모리

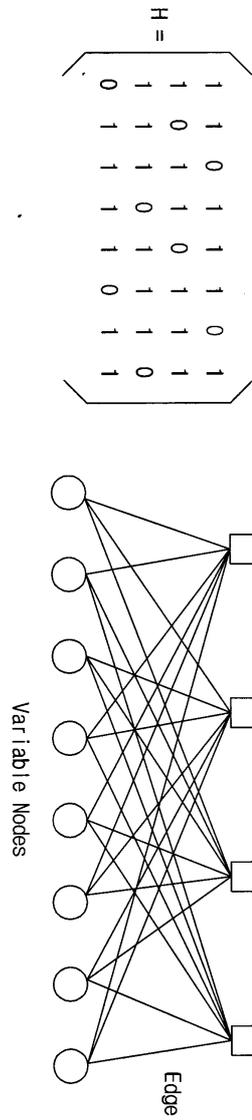
220 : 변수노드 처리부 230 : 출력 버퍼

240 : 복호 제어부 250 : 검사노드 처리부

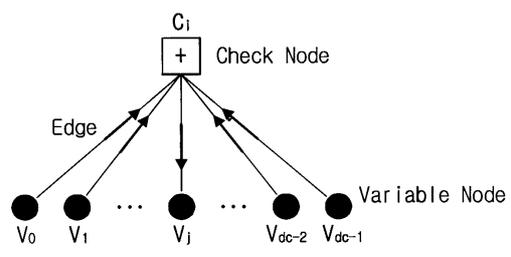
260 : V To C 옛지메시지 메모리

도면

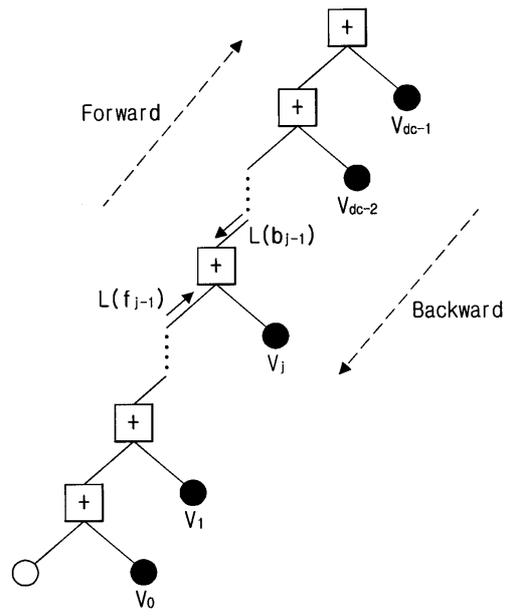
도면1a



도면1b



도면1c



도면1d

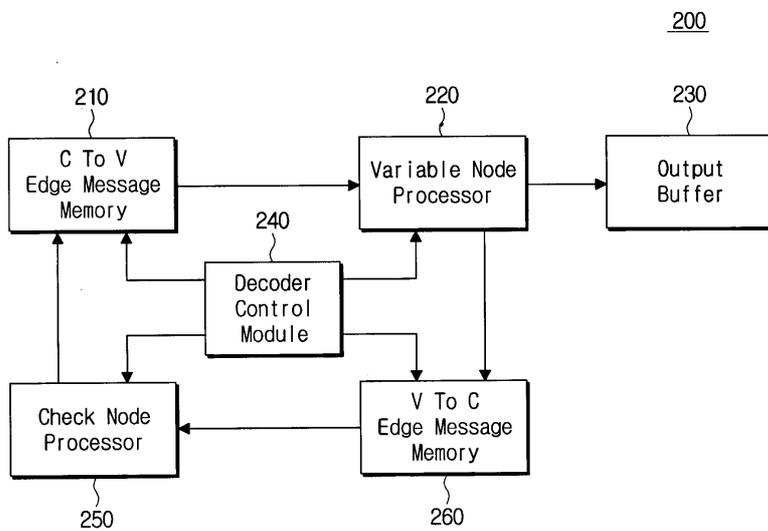
$$LLR(\lambda_{c_i \Rightarrow v_j}) = (-1)^d \cdot L(f_{j-1} + b_{j+1})$$

$$= (-1)^d \cdot \left[\log \frac{1 + e^{L(f_{j-1} + b_{j+1})}}{e^{L(f_{j-1})} + e^{L(b_{j+1})}} \right]$$

$$= (-1)^d \cdot [\text{sign}(L(f_{j-1})) \cdot \text{sign}(L(b_{j+1})) \cdot \min(|L(f_{j-1})|, |L(b_{j+1})|)]$$

$$\frac{-g(L(f_{j-1}) - L(b_{j+1})) + g(L(f_{j-1}) - L(b_{j+1}))}{(A) \quad (B)}$$

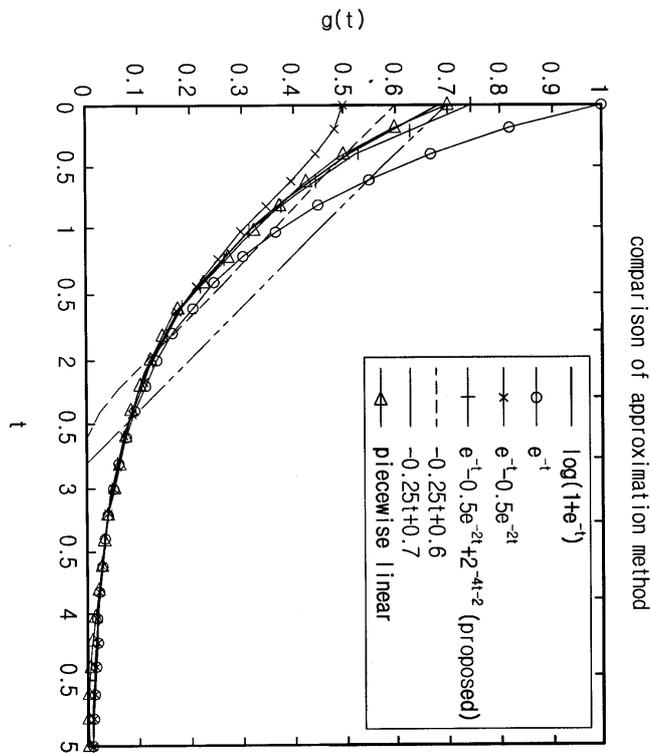
도면2



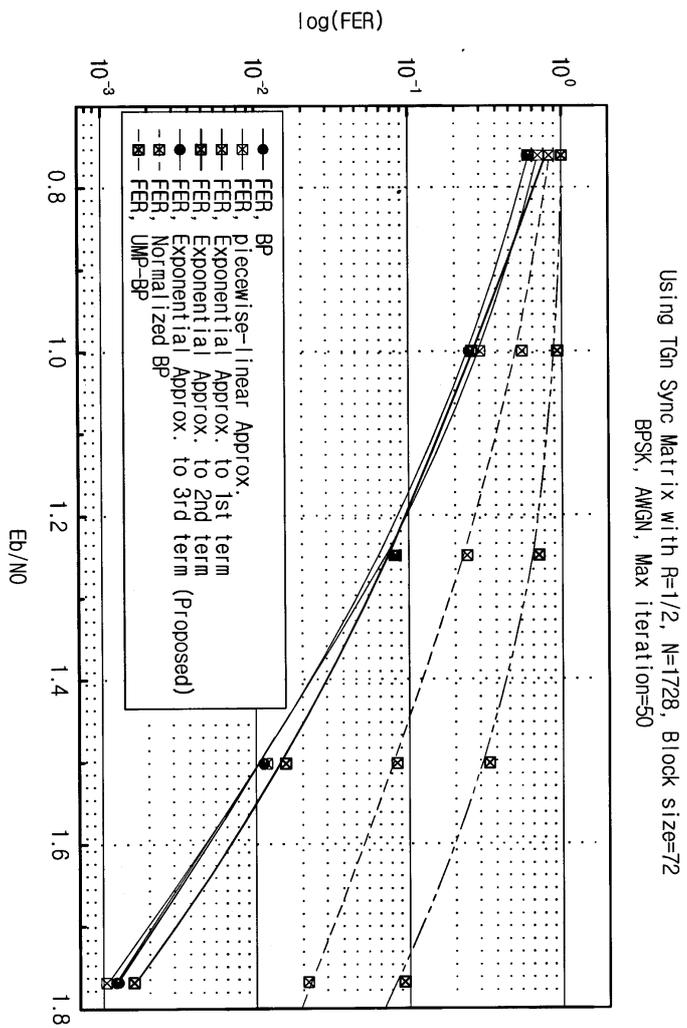
도면3

$$\begin{aligned}
 g(x) &= \log(1 + e^{-|x|}) \\
 &= e^{-|x|} - \frac{e^{-2|x|}}{2} + \underbrace{\left[\frac{e^{-3|x|}}{3} - \frac{e^{-4|x|}}{4} + \dots \right]}_{(A)} \quad (a) \\
 &\Downarrow (B) \\
 g'(x) &= \underbrace{e^{-|x|}}_{1st\ Term} - \underbrace{\frac{e^{-2|x|}}{2}}_{2nd\ Term} + \underbrace{2^{-\alpha}}_{3rd\ Term} \quad (b) \\
 &= 2^{-(|x|\log_2 e)} - 2^{-(2|x|\log_2 e + 1)} + 2^{-\alpha} \quad (c)
 \end{aligned}$$

도면4



도면5



도면6

