
DVB-RCS NG 시스템을 위한 연판정 e-BCH 부호의 구현을 위한 최적 양자화 비트 수 결정

김민혁* · 박태두** · 임병수*** · 정지원****

Optimal Quantization Bits Decision of Soft-Decision BCH Codes for
DVB-RCS NG Systems

Min-hyuk Kim* · Tae-doo Park** · Byeong-su Lim*** · Ji-won Jung****

본 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA-2011-C1090-1121-0007)

요 약

Chase 알고리즘 기반의 연판정 e-BCH 복호 방식은 차세대 DVB-RCS 표준화에 오류 정정 부호화 방식으로 채택되었다. 구현을 위해서는 기존의 경판정 BCH 복호기와는 달리, 특히 연판정 e-BCH 복호시 필요한 양자화 비트수는 구현을 위해 반드시 결정해야 하며, 성능적인 측면에서도 만족을 해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 DVB-RCS NG에서 채택된 연판정 e-BCH 복호기에서 구현을 위해 최적의 비트수를 BER 성능을 이용하여 설정하였다.

ABSTRACT

The soft-decision e-BCH decoding algorithm based on the Chase algorithm is adopted in DVB-RCS NG systems. For implementation, it is necessary to decide the number of optimal quantization bits when soft-decision e-BCH decoding algorithm is processed. Also, the performance must be satisfied. Therefore, in this paper, when the soft-decision e-BCH decoder is implemented, we select the number of optimal quantization bits using BER performance.

키워드

연판정 e-BCH 복호방식; Chase 알고리즘; 최적 비트수 설정; 차세대 DVB-RCS;

Key word

The soft-decision e-BCH decoding algorithm; Chase algorithm; Optimal quantization bits selection; DVB-RCS NG

* 정회원 : 한국해양대학교 (hhyuk6030@hhu.ac.kr)
** 정회원 : 한국해양대학교
*** 준회원 : 한국해양대학교
**** 종신회원 : 한국해양대학교

접수일자 : 2011. 04. 29
심사완료일자 : 2011. 06. 08

I. 서 론

초기의 DVB-RCS 표준안으로 채택 되어진 이중이진 Turbo 부호의 성능이 오류 마루(error floor)현상이 발생하여[1] 이를 개선하기 위해 새로운 알고리즘들이 DVB-RCS NG(Next Generation)에서 제시되고 있다 [2][3]. 새롭게 제시되고 있는 부호화 방식으로는 비선형 위성 채널에서 효율적인 CPM(Continuous Phase Modulation) 기반의 연관정 e-BCH(extended-BCH)부호가 효과적임이 입증되었다.

기존의 경관정 e-BCH 복호 방식에서 Chase 알고리즘 기반의 연관정 e-BCH 복호 방식은 2dB 의 부호화 이득이 있으며[4], 특히 연관정 e-BCH 복호시 필요한 Chase 알고리즘은 다음과 같은 단계를 나뉘어져 복호를 실행한다.

첫째 수신 데이터 중 신뢰성이 낮은 데이터를 찾아 test pattern을 생성하며, 생성된 test pattern을 수신 데이터와 ex-or'ing을 하기 위해 ordering 시킨다. 둘째, Ordering된 test pattern수 만큼 e-BCH 복호를 행한다. 마지막으로 복호된 비트와 수신된 데이터를 이용하여 최적의 수신비트를 찾아낸다. 최적의 수신비트를 찾아 내는 과정은 수신 데이터와 복호된 test pattern 수만큼의 복호된 데이터와의 거리차이를 이용하여 제일 작은 값을 복호된 비트라 간주하며, 스케일링 값과 신뢰도 값을 이용하여 반복하면서 복호한다[5][6].

본 논문에서는 DVB-RCS NG에서 채택된 연관정 e-BCH 복호기에서 구현을 위해 최적의 비트수를 BER 성능을 이용하여 설정하였다. 최적의 비트 수를 설정하기 위해서는 복호기에 입력되는 수신심볼을 양자화하여, 각 모듈에서 출력되는 값을 limit 시킴으로써, floating point 시뮬레이션의 성능과 제일 근접한 양자화 비트 수를 최적의 비트로 설정하였다. 제시된 결과는 향후 DVB-RCS NG 시스템의 채널 부호화 방식에 대한 구현을 위한 설계시 유용한 자료가 되리라 사료된다.

II. DVB-NG에서 적용되는 e-BCH 부호화 방식

1) e-BCH 부호화 구조

Soft-decision BCH부호는 그 구조가 매우 간단하고 복호과정의 RS부호와 흡사하다. 또한 BCH부호는 multiple random error correcting 능력을 갖추고 있다. 기본적으로 BCH부호는 integers $m(m \geq 3)$ 과 에러 정정능력 $t(t < 2m-1)$ 를 가지는데 이 parameters를 이용하면 아래와 같은 식을 만들 수가 있다.

$$\begin{aligned} \text{Block length : } n &= 2^m - 1 \\ \text{Number of parity-check digits : } n - k &\leq mt \\ \text{Minimum distance : } d_{\min} &\geq 2t + 1 \end{aligned} \quad (1)$$

본 연구에서는 $n=63, k=51, t=2$ 인 (63,51,2) BCH부호를 이용하여서 1bit를 확장시킨 (64,51,2) e-BCH부호를 구성하였다. 1bit를 확장시키는 방법에는 여러 가지 방법이 있지만 본 연구에서는 (64,51,2) e-BCH부호의 모든 bits를 ex-OR하는 방법을 고안하였다.

예를 들어 (63,51,2) BCH부호의 부호어를 다음과 같이 표현하면,

$$C = [c_0c_1c_2 \dots \dots \dots c_{62}] \quad (2)$$

1bit가 확장된 (64,51,2) e-BCH부호의 부호어는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C' = [c_0c_1c_2 \dots \dots \dots c_{63}] \quad (3)$$

여기서 확장된 c_{63} 부호는 모든 부호어의 ex-OR를 한 결과이므로 다음과 같이 표현된다. 부호화기의 구조를 보면 BCH(63,51)부호화기에서 인코딩을 한 후 마지막 비트를 식(4)에 의하여 생성한다. 이는 수신된 심볼을 BCH 복호를 한 후 비록 신드롬이 0 이 나오더라도 정확한 복호를 하였는지에 대한 check bit이다.

$$c_{63} = (c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_{62}) \text{ mod } 2 \quad (4)$$

부호화기의 구조는 아래와 같다.

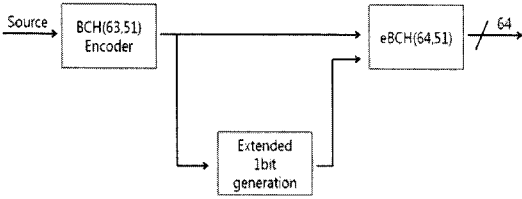


그림 1. e-BCH 부호화기
Fig 1. The structure for e-BCH encoder

또한 e-BCH부호의 generation matrix는 아래와 같이 표현된다.

$$G_{k \times n}^{e-BCH} = [I_{k \times k} | P_{k \times (n-k)}] \quad (5)$$

모든 data blocks에 대하여 같은 protection rate를 부여하고 coding rate R_{target} 을 보장하기 위해서 입력 비트를 shortened 시키고 나머지 비트를 0으로 padding 시킨 후, 부호화 하여, 0으로 padding된 부분은 제거하여 전송한다. e-BCH 부호 적용시 DVB-RCS NG에서 제공하는 부호화율은 아래 표와 같으며, 표 1에서 $k_{shortened}$ 는 각 부호화율에서 shortened 된 k의 사이즈를 나타낸다.

표 1. 각 부호화율에서 $k_{shortened}$ 수

Table 1. The $k_{shortened}$ number of each code rate

e-BCH code	$k_{shortened}$	R_{target}
(64,51)	19	0.591
(64,51)	32	0.7053
(64,51)	35	0.7162

2) 연관정 e-BCH 복호화기 구조

그림 2은 연관정 eBCH부호화기와 복호화기의 구조를 나타낸다.

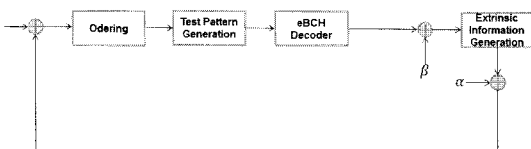


그림 2 Soft decision eBCH 복호기 구조
Fig 2. The structure for Soft decision e-BCH decoder

그림 2의 복호기의 구조를 전체적으로 설명하면, 수신된 심볼은 Chase II 알고리즘을 적용시키기 위해, test pattern을 생성한다. Test pattern은 p개의 신뢰성 없는 수신 심볼에 “1”을 할당하고 나머지는 모두 “0”으로 할당하여 $N_{TP} (= 2p)$ 개의 test pattern 심볼을 생성한다. N_{TP} 개의 test pattern 심볼과 수신비트의 경관정 비트를 ex-OR 하여 BCH 복호기에서 test pattern의 개수인 N_{TP} 만큼의 복호 심볼을 생성한다. N_{TP} 개의 복호된 비트열은 수신 심볼과 거리차이를 구하여 N_{TP} 개 중 가장 거리가 짧은 부호열을 임의의 결정된 복호 비트 (D)라 정의한다. 최적의 복호열 D를 정하는 방법은 기존의 방식은 다음과 같이 요약 설명할 수 있다.

원 신호 E 그리고 가우시안 잡음 신호 N에 의해 수신 신호 벡터 R에 대한 관계는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E + N \quad (6)$$

여기에서 $R = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$, $E = (e_1, e_2, e_3, \dots, e_n)$, $N = (n_1, n_2, n_3, \dots, n_n)$ 이다. 최적 결정 비트 $D = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$ 는 식 (7)과 같이 maximum likelihood 방식에 의해 결정 된다.

$$D = C^i \text{ if } \Pr E = C^i | R > \Pr E = C^j | R \forall j \neq i$$

$$D = C^i \text{ if } |R - C^i|^2 > |R - C^j|^2 \forall j \neq i$$

$$|R - C^i|^2 = \sum_{i=1}^n (r_i - c_i^i)^2 \quad (7)$$

$C^i = (c_1^i, c_2^i, c_3^i, \dots, c_n^i)$ 는 가능한 모든 부호어의 집합 C의 i번째 부호어 이다. 이 경우 n값이 크면 계산량이 매우 많고 오래 걸리며 거의 불가능하다. 그러므로 해밍거리의 범위에 존재하는 수신비트열만 체크하는 Chase II 알고리즘을 이용하여 복호 하여야 한다. 후보 가능한 부호어 C를 찾는 chase-II 알고리즘은 다음과 같다.

1단계 : $p = \lfloor \frac{\delta}{2} \rfloor$ 개의 신뢰성 없는 Y의 비트 위치를 수신 벡터 R을 이용해서 결정한다. 신뢰성 없는 비트의 위치는 수신되는

$$\wedge(y_i) = \ln\left(\frac{\Pr(e_j = +\frac{1}{r_i})}{\Pr(e_i = -\frac{1}{r_j})}\right) = \left(\frac{2}{\delta^2}\right)r_j = |r_j| \text{이다.}$$

2단계 : q개의 test pattern T^q 를 생성한다($q = 2^p$). T^q 의 생성 방법은 n개의 비트 위치 중 $\wedge(y_i)$ 가 가장 적은 값에 해당하는 위치 j에 “1”을 위치시키고 나머지 비트 위치는 “0”을 삽입하고, $\wedge(y_i)$ 가 가장 적은 두개의 비트 위치에 “1”을 위치시키고 나머지 비트는 “0”으로 배치한다. 같은 방법을 계속해서 $\wedge(y_i)$ 가 가장 작은 개의 비트 위치에 “1”을 위치시키고 나머지 비트는 “0”을 삽입한다. 그리고 항상 all-zero pattern을 항상 포함시켜야 한다.

3단계 : q개의 T^q 를 생성하고 난 뒤에, $Z^q = Y \oplus T^q$ 하여 오류 위치를 정정한 Z^q 를 생성한다.

4단계 : Z^q 를 블록 복호하여 C^q 를 생성한다.

D를 정의하면, 우선 반복 시 생성되는 r_j 의 soft decision 값 r'_j 는 입력 수신벡터의 r_j 와 extrinsic 정보의 합으로서 표시될 수 있다.

$$r'_j = r_j + \alpha w_j \tag{8}$$

Extrinsic 정보 w_j 는 자기 신호 j번째를 제외한 extrinsic 정보이며 즉 r'_j 는 chase 알고리즘에 의해 복호된 D의 soft decision 값이며 β 는 신뢰도 factor이다.

$$r'_j = \beta d^i (\beta \geq 0) \tag{9}$$

처음 반복 시에는 신뢰도가 낮으므로 낮은 값으로 반영하면서 반복횟수가 증가 할수록 높게 설정한다. α 는 스케일링(scaling) factor 이며, 이는 수신신호 과에 있는 샘플들의 표준편차를 고려한 것이다. 따라서 대부분의 논문에서도 $\alpha[m] = [0, 0.2, 0.2, 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1]$, $\beta[m] = [0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1, 1, 1]$ 으로 할당한다.

3) e-BCH부호의 성능 분석

본 논문에서의 성능 분석을 위한 채널환경은 백색 가우시안 잡음환경을 사용하였고, 일반적인 페이딩 환경은 적용하지 않았다. 또한 최적의 양자화 비트수를 결정하기에 앞서 본 절에서는 연관정 복호방식에 대하여 각각의 파라미터에 대한 성능을 분석해 보았다.

그림 3은 eBCH부호의 경관정 복호 및 연관정 복호 방식에 대한 성능 분석을 한 곡선이다. 연관정 복호방식이 경관정 복호 방식에 비해 약 1.5dB 정도의 부호화 이득을 얻을 수 있다.

그림 4는 연관정 BCH 복호시, test pattern 수인 p에 따른 성능 분석이다. p는 신뢰성이 없는 비트 수를 의미하며, p = 6일 때에는 test pattern 수는 2^p 개인 64개를 의미한다. p가 증가할수록 복호기의 계산량은 증가하나, 성능이 개선됨을 알 수 있다.

그림 5는 eBCH(64,51)의 shortened시킨 표 1에서 제시된 부호화율에 따른 성능 분석이며, 부호화율이 0.705와 0.716은 성능이 거의 비슷함을 알 수 있다. 이는 표 1에서 제시된 $k_{shortened}$ 의 수가 거의 비슷하기 때문이다.

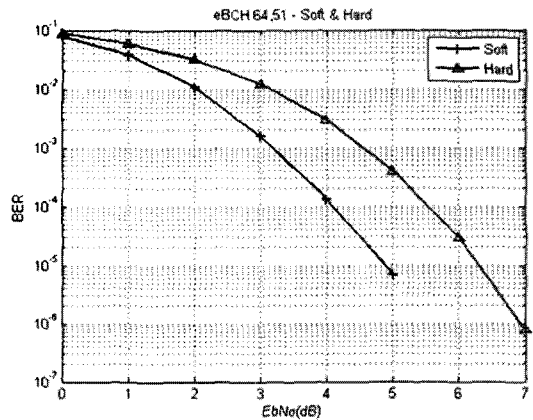


그림 3 eBCH (64,51)부호의 soft decision과 hard decision 성능 비교
Fig 3. The performance of soft decision and hard decision for (64,51)eBCH

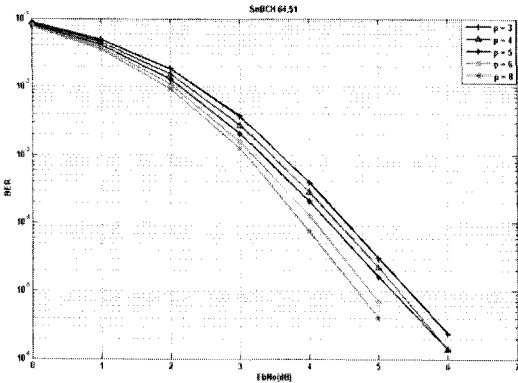


그림 4 eBCH부호의 p에 따른 성능 비교
Fig 4. The performance by p of eBCH code

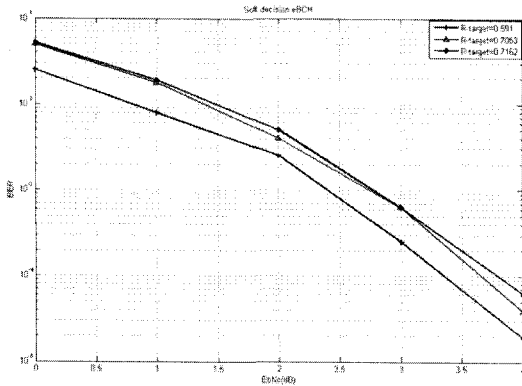


그림 5 eBCH 64,51부호의 부호화율에 따른 성능
Fig 5. The performance by code rate of (64,51) eBCH code

III. 구현을 위한 e-BCH부호의 최적 비트 수 결정

고정소숫점 시뮬레이션을 하기 위한 e-BCH 복호기의 블록도를 그림 6에 나타내었다.

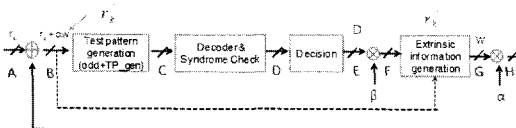


그림 6 고정소숫점 시뮬레이션을 위한 블록도
Fig 6. The structure for fixed point simulation

기존의 경판정 기반의 BCH 부호는 수신심볼을 경판정하여 “0”과 “1”을 이용하여 복호하는 반면, 연판정 기반의 BCH 부호는 채널을 통과한 수신 데이터 r_k 의 값을 양자화 하여, Chase 알고리즘을 사용하였기 때문에 구현을 위해 그림 6의 복호기를 블록으로 나뉘어 각 블록에 몇 비트로 할당해야 하는지 결정하는 것이 중요하다. 또한 결정된 양자화 비트 수는 성능에 영향을 주기 때문에 기존의 floating point 시뮬레이션 성능과 비교하여 제일 근접하는 양자화 비트를 설정해야 한다.

그림 6의 각 모듈에서 A부분의 양자화된 r_k 가 Q bits로 구성된다면, Q bits로 구성된 외부 정보(extrinsic information)와 더해진 값이 B의 test pattern 생성기로 입력되어지기 때문에 테스트 패턴 생성기의 입력 데이터는 Q+1 bits로 구성되어 진다.

test pattern 생성기에서의 출력데이터 개수는 원래의 e-BCH 부호와 같이 (64,51)일 때, 64 비트를 가지는 N_{TP} 개의 데이터가 출력된다. 여기서 N_{TP} 는 test pattern 수를 의미한다. 복호를 하기 위해서는 C에서 1비트를 입력해야 하며, 복호기 출력 역시 D에서 1비트가 출력된다. 그림 6의 Decision 블록은 식 (7)과 같이 N_{TP} 개의 test pattern 중에서 수신신호와 유클리디언 거리가 제일 작은 부호어를 선택한다. 따라서 D부분의 1 비트를 D에서는 다시 Q bits로 구성된 데이터가 출력된다. E에서 Q bits의 최적의 복호 부호열은 G의 extrinsic information w 를 구하기 위해 E 지점의 데이터에 신뢰도 factor β 를 곱하게 되는데, 이 때, β 의 값은 bit계산이 용이하도록 쉬프트 개념을 사용하였다. 외부 정보 생성기에서는 F 지점의 값과 B 지점의 값을 이용하여 G지점의 값을 출력하였다. 이 때, G 지점의 값 역시 Q bits로 구성되어 지고, 스캘링 factor α 의 계산 역시 β 와 같이 계산이 용이하도록 쉬프트 개념을 사용하였다. 기존의 값들은 2.2절에서 제시한

$$\alpha[m] = [0, 0.2, 0.2, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 1.0]$$

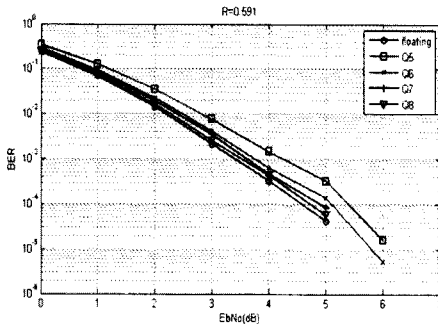
$$\beta[m] = [0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]$$

이나 본 고정 소숫점 시뮬레이션에서는

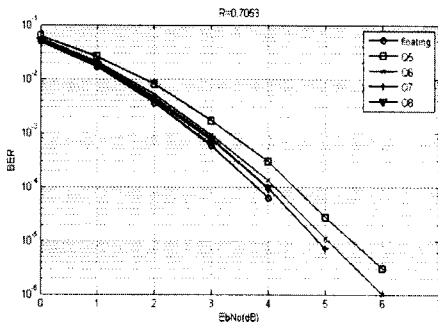
$$\alpha[m] = [0, 0.25, 0.25, 0.5, 0.5, 1.0, 1.0, 1.0]$$

$$\beta[m] = [0.25, 0.5, 0.5, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]$$

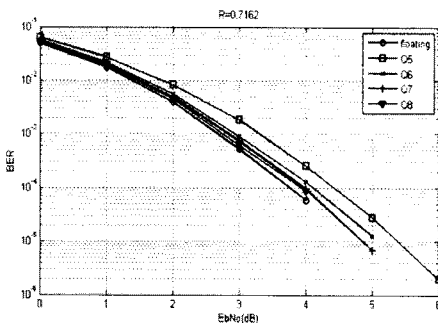
을 할당하여 구현에 용이하도록 하였다. 0.25인 경우는 2 비트 우 쉬프트를 의미하고 0.5는 1비트 우 쉬프트를 하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 7 각 부호화율에서 양자화 비트수의 변화에 따른 성능 비교

(a) R=0.519 (b) R=0.7053 (c) R=0.7162

Fig 7. The performance by the bit number of quantization at each code rate

(a) R=0.519 (b) R=0.7053 (c) R=0.7162

이를 바탕으로 본 연구에서 사용되어진 연관정 e-BCH는 부호화율 R=0.591, 0.705, 0.716의 세가지 부호화율을 가진다. 각 부호화율에서 구현을 위해 최적의 비트수를 찾기 위해, 각 부호화율에서 Q=5,6,7,8로 변화시키면서 floating 시뮬레이션과 성능비교를 하였다. 그림 7은 각 부호화율에 따른 성능 그래프를 나타낸다. 그림 7에서 알 수 있듯이 최적의 비트수는 각 부호화율에 따라 오차가 약간 있을 수 있지만 6~7비트임을 알 수 있다. 아래 표 2는 그림 7의 성능을 기반으로 하여 구현을 위한 각 블록에서 요구되는 최적의 양자화 비트수를 나타낸다.

표 2 각 블록에서 요구되는 최적의 양자화 비트수 Table 2. The required bit number of quantization at each block

	Quantization Bits
Received Bit(A)	6~7
Decoder Input Bit(B)	7~8
Test Pattern Output(C)	1
Decoder Output(D)	1
Decision Output(E, F)	6~7
Extrinsic Information(G,H)	6~7

그림 6에서 Decision 블록은 N_TP개의 test pattern 과 수신심볼의 유클리디언 거리를 구하여 최소 거리를 가지는 test pattern을 찾아 복호 데이터를 결정하는 블록이다. 유클리디언 방식은 두 부호열간의 차를 구한 후 그 값을 제공하고 다시 그 값들의 합의 제곱근을 구하는 방법으로 구한다. 이 때 제곱과 제곱근에 대한 연산을 하기 위해서는 많은 비트수와 계산이 필요되어진다. 제곱을 하기 위해서는 Q bits로 구성된 데이터를 처리하기 위해 Q²의 비트수가 필요하다. 본 연구에서는 제곱과 제곱근에 의한 거리계산과 데이터들의 차의 절대값을 더하여 최소 테스트 패턴을 구하는 방식에 대한 성능을 비교 분석 하였다. 그림 8은 제곱연산과 절대값연산을 사용했을 때의 성능 그래프를 나타낸 것이다. 이때 사용한 부호화율 R=0.591이고, 데이터는 작은 데이터수인 2*10⁵을 사용하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 제곱연산을 통해 테스트 패턴의 거리를 구하는 것과 절대값을 이용하여 구하는 것의 성능은 거의 같음을 알 수 있다. 그러므로 decision 블록을 구현시 절대값을 사용한다면 제곱연산

과 제공근연산을 제외하므로 연산량과 필요한 비트수를 줄일 수 있다.

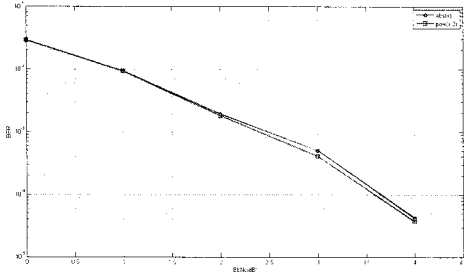


그림 8. Decision 블록에서 제곱근연산과 절대값 연산의 성능 비교

Fig 8. The performance by calculation of square and absolute at decision block

V. 결 론

DVB-RCS NG(Next Generation)에서 새롭게 제시되고 있는 부호화 방식으로는 비선형 위성 채널에서 효율적인 CPM(Continuous Phase Modulation) 기반의 연관정 e-BCH(extended-BCH)부호가 효과적임이 입증되었다. Chase 알고리즘 기반의 연관정 e-BCH 복호 방식은 기존의 경관정 e-BCH 복호 방식에서 부호화 이득이 있으며, 구현을 위해서는 기존의 경관정 BCH 복호기와는 달리, 특히 연관정 e-BCH 복호시 필요한 양자화 비트 수는 구현을 위해 반드시 결정해야 하며, 성능적인 측면에서도 만족을 해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 DVB-RCS NG에서 채택된 연관정 e-BCH 복호기에서 구현을 위해 최적의 비트수를 BER 성능을 이용하여 설정하였다. 최적의 비트 수를 설정하기 위해서는 복호기에 입력되는 수신신호를 양자화 하여, 각 모듈에서 출력되는 값을 limit 시킴으로써, floating point 시뮬레이션의 성능과 제일 근접한 양자화 비트 수를 최적의 비트로 설정하였다. 최적의 양자화 비트 수는 표 2에서 제시한 6~7 비트가 적합함을 알 수 있다. 또한 복호 부호 열을 결정하기 위한 기존의 유클리디언 방식 대신 단순히 절대치만 구하여도 성능이 거의 동일 하면서 구현 복잡도를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 제시된 결과는 향후 DVB-RCS NG 시스템의 채널 부호화 방식에 대한 구현을 위한 설계시 유용한 자료가 되리라 사료된다.

참고문헌

- [1] C.Berrou, A.Glavieux, and P.Thitimajshima, "Near Shanon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo-Codes," ICC93, pp.1064-1070, 1993.
- [2] C. Berrou, A. Graell, Amat, Y. Ould-Cheikh-Mouhamedou, C. Douillard, and Y. Saouter, "Adding a rate-1 third dimension to turbo codes," in Proc. IEEE Inform. Theory Workshop, pp. 156 - 161, Sep. 2007.
- [3] C. Douillard, C. Berrou, "Turbo Code With Rate-m/(m+1) Constituent Convolutional Codes", IEEE Trans.Commun, vol. 53, no 10, pp.1630-1638, Oct. 2005.
- [4] Fijo Therattil Andrew Tangraj "A Low-complexity Soft-decision Decoder for Extended BCH and RS-like codes", International Symposium on Information Theory, pp.1320-1324, 2005.
- [5] R.M. Pyndiah, "Near-optimum decoding of product codes: Block Turbo Codes," IEEE Trans. on Communication, vol. 46, pp.1003-1010, Aug. 1998.
- [6] D.Chase, "A class of algorithms for decoding block codes with channel measurement information," IEEE Trans.on Information Theory, vol. IT-18, pp.170-182, Jan. 1972.

저자소개



김민혁(Min-Hyuk Kim)

2006년 2월: 한국해양대학교
전파공학과 (공학사)

2008년 2월: 한국해양대학교
전파공학과 (공학석사)

2008년 3월 ~ 현재: 한국해양대학교 전파공학과
박사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,
채널 코딩, FPGA 기술 등



박태두(Tae-Doo Park)

2008년 2월: 한국해양대학교
전파공학과 (공학사)

2010년 2월: 한국해양대학교
전파공학과 (공학석사)

2010년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과
박사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,
채널 코딩, FPGA 기술 등



임병수(Byeong-Su Lim)

2011년 2월: 한국해양대학교
전파공학과 (공학사)

2011년 2월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 석사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,
채널 코딩, FPGA 기술 등



정지원(Ji-Won Jung)

1989년 2월 :성균관대학교
전자공학과(공학사)

1991년 2월 :성균관대학교
전자공학과(공학석사)

1995년 2월 :성균관대학교 정보공학과(공학박사)

1991년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 정보통신연구소
연구원

1995년 9월 ~ 1996년 8월 : 한국통신 위성통신연구실
선임연구원

1997년 3월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원
초빙연구원

1996년 9월 ~ 현재: 한국해양대학교 전파공학과
정교수

2001년 8월 ~ 2002년 8월 : 캐나다 NSERC Fellowship
(Communication Research Center 근무)

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,
채널 코딩, FPGA 기술 등