

연성판정 비터비 복호기의 최적 BER 성능을 위한 오프셋 크기와 양자화 간격에 관한 성능 분석

학생회원 최은영*, 정회원 정인택**, 송상섭***

A new spect of offset and step size on BER performance in soft quantization Viterbi receiver

Eun-young Choi* *Student Member*, In-tak Jeong*, Sang-seb Song *Regular Members*

요 약

IS-95 또는 IMT-2000 등의 이동통신 시스템에서는 10~20msec 길이의 프레임 단위로 정보를 교환하게 되므로 수신측에서는 이와 같은 크기의 프레임을 저장할 버퍼가 필요하다. 연성판정 비터비 복호기를 사용할 때, 이를 위한 버퍼의 크기, 즉 한 프레임에 들어 있는 비트 수는 길쌈부호의 부호율(1 대 n), 전송속도(bps), 그리고 연성판정 비트 수에 비례하여 증가한다. 본 논문에서는 연성판정 비트 수를 4 비트에서 3 비트로 낮추면서 비터비 복호기의 성능 저하를 줄이기 위한 양자화 방법을 제안한다. 연성판정 비트 수(4,3,2,1)별로 양자화 판정 기준 점의 오프셋 크기와 양자화 간격에 대해 비터비 복호기의 성능을 AWGN 환경에서 시뮬레이션 하였고, 이를 토대로 최적의 BER 성능을 갖는 오프셋 크기와 양자화 간격을 결정하였다. 그 결과로서 4 비트 연성판정의 성능에 근접하는 3 비트 연성판정 양자화 방법을 도출하였고, IS-95(4 비트)의 최대 40배의 전송속도를 지원하는 IMT-2000 시스템에 적용하였을 때 미미한 성능 손실(-0.05 dB)을 유지하면서 입력 버퍼의 크기를 3/4 배로 줄일 수 있음을 보였다. 또한, 다양한 전송속도에 따라 반복된 누산 입력신호를 제안된 비트 수로 변환하기 위한 최적 SMT(symbol metric table)를 고안하였다.

ABSTRACT

Mobile telecommunication systems such as IS-95 and IMT-2000 employ frame based communication using frames up to 20 msec in length and the receiving end has to store the whole frame before it is being processed. The size of the frame buffer often dominates those of the processing unit such as soft decision Viterbi decoder. The frame buffer for IMT-2000, for example, has to be increased 80 times as large as that of IS-95. One of the parameters deciding the number of bits in a frame will be obviously the number of bits in soft quantization. Start after striking space key 2 times.

This paper has studied a new aspect of offset and quantization step size on BER performance and proposes a new 3-bit soft quantization algorithm which shows similar performance as that of 4-bit soft decision Viterbi receiver. The optimal offset values and step sizes for the other practical quantization levels ---16, 8, 4, 2--- have also been found. In addition, a new optimal symbol metric table has been devised which takes the accumulation value of various repeated signals and produces a rescaled 3-bit value. tart after striking space key 2 times.

* 전북대학교 전자공학과 부호 연구실(cey@codelab.chonbuk.ac.kr),

** 전북대학교 전자공학과 부호연구실 (ijeong@codelab.chonbuk.ac.kr),

*** 전북대학교 전자공학과 부호연구실(ssong@moak.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 010208-0801, 접수일자 : 2002년 1월 12일

I. 서론

이동통신의 경우 패킷통신을 하여 프레임 단위로 정보를 교환하게 되므로 수신측에서는 정보를 처리하기 전에 프레임을 저장시킬 입력 버퍼가 필요하게 된다. 이런 입력 버퍼는 수신된 정보 비트를 판정한 후 프레임 단위로 저장하는 장소이며, 한 프레임 임을 저장하기 위해 필요한 입력 버퍼의 크기는 다음과 같이 비터비 복호기의 데이터 전송속도, 프레임 길이, 길쌈부호의 부호율, 연성판정 비트 수와 전송속도에 따른 반복율에 비례한다.

$$M = C \times L_f \times R_c^{-1} \times N_s \times R_b$$

- M : 연성 판정된 한 프레임에 들어있는 총 비트 수
- C : 전송속도, L_f : 프레임 길이(20, 10, 5 ms)
- R_c^{-1} : 부호율의 역수(2, 3, 4, 6)
- N_s : 연성 판정 비트 수
- R_b : 데이터 전송속도에 따른 반복율

위와 같이 이동통신 시스템에서 사용되는 입력버퍼의 크기는 수신된 정보 비트를 판정하는 연성판정 비트 수가 늘어나고 다양한 길쌈부호의 부호율이 사용되어지고 데이터 전송속도가 증가함에 따라 비터비 복호기의 입력단에서 요구되어지는 그 크기가 증가하게 된다. 기존의 IS-95 시스템의 경우 부호율은 1/2, 1/3 으로 2 종류가 있고 데이터의 전송률은 최대 9.6 kbps 이며, 4 비트 연성판정을 사용하였다^[6]. 이에 반해, IMT-2000 시스템의 경우 부호율은 1/2, 1/3 으로 2 종류가 있고 데이터의 전송률은 최대 9.6 kbps 이며, 4 비트 연성판정을 사용하였다^[6]. 이에 반해, IMT-2000 시스템의 경우 순방향/역방향 링크의 길쌈부호의 부호율은 채널에 따라 1/2, 1/3, 1/4, 1/6 으로 그 종류가 4가지로 다양화되고, 데이터의 최대 전송속도는 9.6 kbps에서 384 kbps로 40배 증가하게 된다^[2]. 따라서 같은 연성판정 비트 수를 사용하는 경우, 20 msec 프레임에 들어있는 수신된 정보 비트 수는 IMT-2000 시스템의 경우 IS-95 시스템의 약 80배 정도의 비트 수를 포함하게 되므로 한 프레임에 대한 입력 버퍼의 크기가 약 80배가된다. 이처럼 비터비 복호기의 증가된 입력버퍼의 크기와 그로 인한 하드웨어복잡도를 감소시키기 위해 비터비 복호기의 연성판정 비트 수의 최적화가 요구된다.

본 논문에서는 비터비 복호기의 각 연성판정 비트 수에 따른 균등한 양자화의 판정 기준 점에 대한 오프셋이 0인 경우와^{[10][14]} 오프셋을 $\Delta/2$ 만큼 크기를 주어 양자화 방법을 달리한 후 양자화 간격을 결정하여 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 IMT-2000 시스템의 규격을 만족하는 비터비 복호기의 성능을 분석한다. 그 결과로 성능분석을 통한 IS-95 시스템에서 사용된 4 비트 연성판정의 성능에 근접하는 3 비트 연성판정을 제시하고, 제시된 3 비트 연성판정의 경우에는 데이터 전송속도에 따라 누산기에서 반복된 회수로 인해 증가된 수신 정보 비트를 3 비트로 다시 표현할 수 있도록 SMT(Symbol Metric Table)를 고안하고 데이터 전송속도에 따라 그 성능을 분석한다.

이에 대한 본 논문의 구성은 제 2장인 비터비 복호기에서는 연성판정 성능분석을 위한 비터비 복호기의 기본적 구조와 이론을 설명하고 제 3장에서는 오프셋 크기에 따른 양자화 방법과 양자화 간격에 따른 AWGN 환경에서 비터비 복호기의 성능분석과 반복율에 의한 증가된 정보비트를 재평가하기 위한 SMT를 제안한다. 제 4장에서는 3장에서 얻어진 오프셋 크기에 따른 최적 양자화 방법과 그때의 최적 양자화 간격을 적용하여 연성판정 비트 수와 전송속도에 따른 비터비 복호기의 성능을 분석한다. 마지막 제 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 비터비 복호기

비터비 복호기는 입력 심벌 열에 대해 가장 유사한 복호열을 찾는 것으로 확률의 누적치 상태 값을 발생 가능한 모든 경로에 대하여 계산하고 두 개의 경로가 만났을 때, 큰 경로값을 갖는 경로를 선택하여 가장 유사한 복호열을 역추적 과정을 통하여 복호하는 방식이다. 이를 기능 별로 살펴보면 그림 1에 보인 블럭도와 같이 비터비 복호기는 크게 BM(branch metric)부, ACS(add-compare-select)부, TB(trace back)부의 3개의 모듈로 구성되고, 입력 버퍼에 저장된 수신정보를 데이터 전송속도에 따라

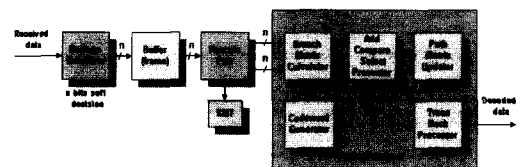


그림 1. 비터비 복호기의 블록도.

반복 누산된에 의해 증가된 정보 비트를 변환하는 rescale-부가 BM부 전단에 놓이게 된다^{[7][8][9]}.

2.1 Rescale부

n 비트 연성판정 후, 입력 버퍼에 프레임 단위로 저장된 수신 정보 비트는 데이터 전송속도에 따라 반복 누산되어 지는데, 이동통신 시스템과 같은 경우 다양한 전송속도에 따른 심벌 반복율을 달리하여 전송한다. 예를 들어 IMT-2000 시스템의 forward fundamental channel에서 한 프레임의 길이가 20 msec 일 때 전송속도가 9.6 kbps 인 경우 심벌 반복율은 1 이고, 4.8 kbps 인 경우 심벌 반복율은 2, 2.4 kbps 인 경우 심벌 반복율은 4, 1.2 kbps 인 경우는 8로 정의하고 있다. 이러한 경우, 수신부에서는 판정된 값을 송신 심벌 반복율에 따라 심벌을 누산한 후, 이를 재평가하는 rescaling 기능을 필요로 한다. 이러한 재평가는 일반적으로 look-up table 형태의 SMT를 이용하여 이루어진다^{[6][10]}.

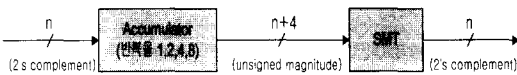


그림 2. Rescale부 블록도

누산된 값은 그림 2와 같이 SMT의 주소(0b_{n+3}b_{n+2}...b₁b₀ ~ 1110b_{n-1}...b₁b₀)를 나타내고, 입력 주소에 따라 SMT는 n 비트인 2의 보수 형태의 심벌을 출력하게 된다. 그림 3은 n 비트 연성판정의 경우 SMT의 블록도를 나타낸 것으로 송신 데이터 전송속도에 따른 반복율에 의해 누산되어진 값이 SMT의 주소가 되어 재평가되어진 값(r₀, r₁)들이 출력된다. 여기서, M×n은 SMT의 크기로, M(2ⁿ⁺⁴-2ⁿ)은 나타낼 수 있는 SMT의 입력 주소 값의 수이고 n은 연성판정 비트 수이다.

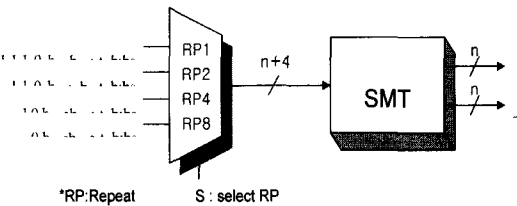


그림 3. n 비트 연성판정시 SMT 블록도

2.2 BM부

BM부의 주기능은 변환된 입력 심벌과 상태천이

에 따라 발생하는 각 가지의 부호어에 대응하는 심벌과의 Squared Euclidean Distance(SED)를 구하는 것으로 구속장이 K인 경우 2^{K-1}개의 가능한 상태가 존재한다.

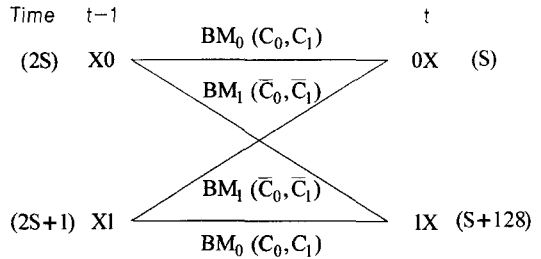


그림 4. 부호율 1/2, K=9인 나비구조

그림 4는 부호율이 1/2인 경우 Radix-2 나비구조를 나타낸 것으로, X는 시간 t-1에서 K=9인 부호기의 K-1개의 시프트 레지스터중 LSB(least significant bit)를 제외한 나머지 비트 값을 의미하며 0에서 127의 값을 가지므로 총 256가지의 상태를 나타내게 된다. 시간 t에서 상태값은 입력에 따라 1인 경우 1X로, 0인 경우 0X로 천이 된다. 천이 과정에서 발생하는 가지값(BM₀, BM₁)은 일반적으로 SED와 등가인 다음 식을 사용하여 계산된다^[6].

$$BM_0 = \sum_{i=0}^{K-1} |r_i|, \quad \begin{matrix} c_i \text{와 } r_i \text{의 부호가 다른 경우} \\ 0, \quad c_i \text{와 } r_i \text{의 부호가 같은 경우} \end{matrix}$$

$$BM_1 = \sum_{i=0}^{K-1} |r_i|, \quad \begin{matrix} \bar{c}_i \text{와 } r_i \text{의 부호가 다른 경우} \\ 0, \quad \bar{c}_i \text{와 } r_i \text{의 부호가 같은 경우} \end{matrix}$$

이때, n은 부호율의 역수를 나타내고, c_i는 시간 t에서 길쌈부호의 생성다항식에 의한 부호어이고, r_i는 수신된 심벌이다.

2.3 ACS부

ACS부에서는 현재상태 X₀, X₁에서의 경로값 PM_{X₀}, PM_{X₁}에 가지값 BM₀, BM₁을 더하고 두 값 중 작은 값을 선택하여 다음 상태 0X, 1X의 경로값 PM_{0X}, PM_{1X}를 구한다. 이런 과정을 거쳐 최소 경로값을 갖는 상태를 구하여 TB부로 출력하고 경로값을 갱신하게 되는데 최소 경로값을 갖는 상태 즉, 생존 경로를 선택하여 시간 t-1에서의 상태의 LSB를 TBM(Trace Back Memory)에 저장함으로써 TBM을 확장한다.

ACS에서 상태값을 갱신하고 TBM을 확장하는 과정은 다음과 같이 표현된다.

$$PM_{0X} = \min(PM_{X0} + BM_0, PM_{X1} + BM_1)$$

$$PM_{1X} = \min(PM_{X0} + BM_1, PM_{X1} + BM_0)$$

$$TBM_{0X}(t+1) = 0 \text{ if } PM_{X0} + BM_0 < PM_{X1} + BM_1$$

$$= 1 \text{ if } PM_{X0} + BM_0 > PM_{X1} + BM_1$$

$$TBM_{1X}(t+1) = 0 \text{ if } PM_{X0} + BM_1 < PM_{X1} + BM_0$$

$$= 1 \text{ if } PM_{X0} + BM_1 > PM_{X1} + BM_0$$

2.4 TB부

TB부는 ACS부에서 구한 최소 경로값(S*)의 상태를 받아 이 값을 초기 값으로 역추적 길이(w) 만큼 역추적 알고리즘을 수행하여 입력 정보 비트를 찾는다.

역추적 과정은 S(t)에서의 상태를 왼쪽으로 1만큼 이동시킨 후, TBM으로부터 읽어온 값을 LSB에 첨가하여 S(t-1)에서의 상태를 구한다. 이때, 상태 S(t)의 MSB는 S(t-1)에 들어 온 입력 정보 비트이다.

$$S(w) = S^*, t = W - 1, W = \text{역추적길이}$$

$$S(t-1) = (S(t) \ll 1) \text{ XOR } (TBM[S(t)][t])$$

$$\hat{m} = \text{MSB of } S(0)$$

위의 과정은 현재 상태 0X나 1X에서 상태를 왼쪽으로 1만큼 이동시킨 후 TBM에서 읽어 온 값을 LSB에 붙여 이전 상태 X0나 X1를 추적하는 것으로, 역추적이 끝나면 현재 상태의 MSB는 이전 상태에서 입력되어진 값으로서 수신된 정보 비트라고 추정할 수 있다.

III. 양자화 방법과 간격에 따른 성능분석과 반복율에 의한 SMT

본 장에서는 연성판정에 사용되는 비트 수 (1,2,3,4)에 대해 판정 기준 점에 대한 오프셋 적용 여부로 인한 양자화 방법과 여러 양자화 간격을 적용하여 비터비 복호기의 성능을 분석하고, 얻어진 결과를 통해 최적의 양자화 방법과 양자화 간격을 결정한다. 이때의 길쌈부호의 부호율 R=1/2 이고, 구속장 K=9, TB의 길이는 7K로 하며^[5], 성능 분석을 위한 BER(bit error rate)은 원래의 정보 비트와 수신된 정보 비트를 연성 판정 비터비 복호기를 통하여 얻은 비트와 비교하여 오판된 정보를 전체 비트 수로 나눈 값이다.

3.1. 1 비트 연성판정과 2 비트 연성판정

1 비트 연성판정의 경우는 그림 5의 (a)와 같이 A/D 변환기 및 복조기를 통과한 수신 정보가 양의 값을 갖는 경우는 0으로 음의 값을 갖는 경우는 -1로 그 대표값을 나타낸다. 이런 경우, 부호어(code word)에 대한 심벌과 수신된 데이터의 부호가 다른 경우 가지값 계산시 BM에 1을 더하게 된다. 2 비트 연성판정의 경우는 그림 5의 (b)와 같이 영점을 기준으로 오프셋이 0인 경우와 (c)의 오프셋이 Δ/2인 경우 각 양자화 간격에 해당하는 구간에서 -2와 1사이의 대표 값을 갖게 되는데 수신된 정보(r)을 각 구간(Δ)에 해당하는 대표값(rQ)로 나타낸다. 이때의 오프셋이 0이라함은 영점을 기준으로 양쪽의 대표값을 2 가지로 나눈 경우이다.

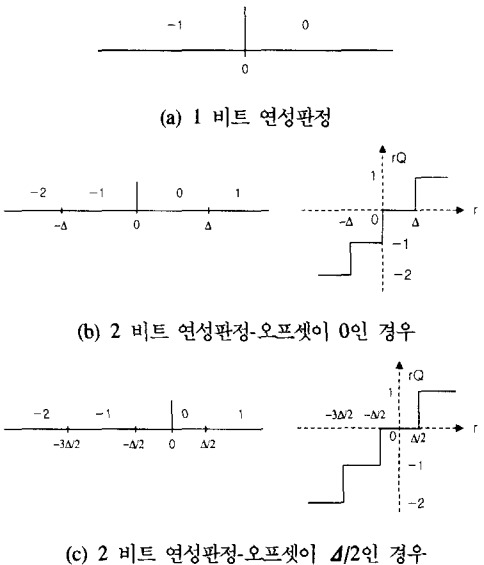


그림 5. 오프셋에 따른 양자화 방법.

표1과 같이 2 비트 연성판정의 경우 입력 심벌의 값이 해당하는 구간에 따라 2의 보수를 이용하여 표현하고 대표값은 +1~-2 사이의 값을 갖는다.

표 1. 양자화 방법에 따른 대표값

입력 심벌		2의 보수 (2 비트)	대표값 (rQ)
(a)오프셋 0인 경우	(b)오프셋 Δ/2인 경우		
$r \geq \Delta$	$r > \Delta/2$	01	+1
$0 \leq r < \Delta$	$-\Delta/2 < r \leq \Delta/2$	00	0
$-\Delta \leq r < 0$	$-\Delta/2 < r \leq 0$	11	-1
$r < -\Delta$	$r \leq -\Delta/2$	10	-2

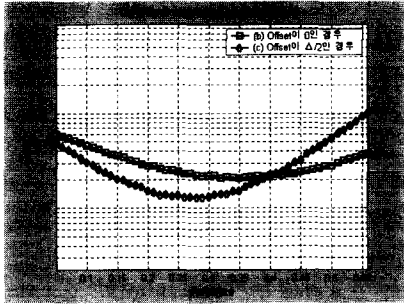


그림 6. 2 비트 연성판정 양자화 간격에 따른 성능분포

그림 6은 양자화 방법에 따라 양자화 간격을 변화시켜 가면서 성능을 살펴보고 최적의 양자화 간격을 결정한다. E_b/N_0 가 2.5dB인 경우 2 비트 연성판정의 양자화 간격은 오프셋이 $\Delta/2$ 인 경우 0.29이고, 오프셋이 0인 경우는 0.30부터 0.40사이의 값을 갖는다. 이때 그림 5의 (b)와 같이 오프셋이 0인 경우 각 구간에 대한 2의 보수 값을 그대로 두고 그 대표값을 그림 7과 표2와 같이 확장하였다.

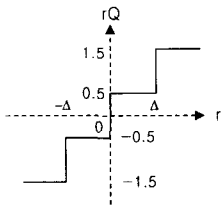


그림 7. 대표값을 확장한 오프셋이 0인 경우.

표 2. 양자화 방법에 따른 대표값 확장

오프셋이 0인 경우 대표값 확장	2의 보수	대표값(rQ)
$r \geq \Delta$	01	1.5
$0 \leq r < \Delta$	00	0.5
$-\Delta \leq r < 0$	11	-0.5
$r < -\Delta$	10	-1.5

이 경우는 각 구간을 나타내는 2의 보수 형태는 그대로 두고 가지값 계산시에 상태천이에 따른 부호어와 수신된 심벌의 부호가 다른 경우 그에 해당하는 대표값을 더해지게 된다. 이때의 대표값은 2비트로 표현하되 확장된 0.5를 더 더해줘야 한다. 그림 8은 그림 6에서 결정된 양자화 간격 0.29와 0.30을 적용한 그림 5의 양자화 방법과 그림 7의 대표값을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

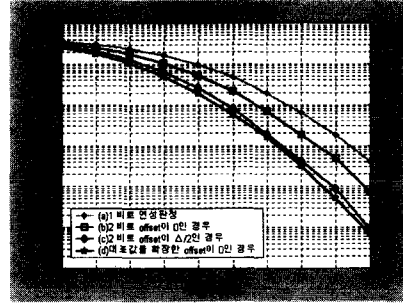
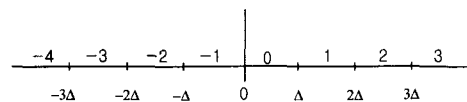


그림 8. 1 비트/2 비트 연성판정에 따른 성능분석.

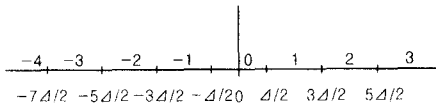
그림 8에서 이동통신 시스템에서 요구하는 10^{-3} 의 BER을 만족하기 위하여 판정 기준 점에 대한 오프셋이 $\Delta/2$ 인 양자화 방법의 경우는 3.2 dB이었고 오프셋이 0인 경우는 3.72 dB, 대표값을 확장한 오프셋이 0인 경우 E_b/N_0 는 3.14 dB, 그리고 1비트 연성판정의 경우는 4.2 dB이었다. 이로써, 그림 4.4와 같이 2 비트 연성판정의 경우에는 대표값을 확장한 오프셋이 0인 경우 성능은 오프셋이 $\Delta/2$ 인 경우에 대해 약 0.06 dB 성능이 향상되었고 오프셋이 0인 경우에 대해 약 0.58 dB 성능이 좋음을 알 수 있다.

3.2. 3 비트와 4 비트 연성판정

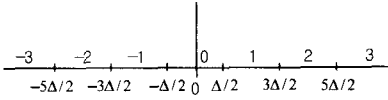
3 비트 연성판정 양자화 방법은 4가지를 고려한다. 첫 번째의 경우 2 비트 연성판정과 같이 그림 9의 (a)와 같이 오프셋이 0인 경우를 적용하여 원점을 기준으로 구간 $[0, \Delta]$ 을 0값으로 각 구간을 Δ 간격으로 나누어 이에 해당하는 값을 그 구간의 대표값(4~3)으로 한다. 두 번째의 경우 (b)에서 오프셋이 $\Delta/2$ 인 경우 원점을 포함한 구간 $(-\Delta/2, \Delta/2]$ 을 0값으로 양쪽을 Δ 간격으로 나뉘어 이에 해당하는 값을 그 구간의 대표값(4~3)을 2의 보수로 표현한다. 세 번째의 경우는 (c)에서 보듯이 첫 번째의 경우와 같은 방식으로 구간을 정하되, $-\Delta/2$ 보다 작은 값을 갖는 구간의 대표값을 -4대신 -3으로 하여 대표값이 대칭적으로 되게 한다. 이 경우는 signed magnitude로 표현하여 경우 양자화 방법이다. 마지막으로 (d)와 같이 오프셋이 0인 경우 그 대표값을 0.5 만큼 확장한 경우이다.



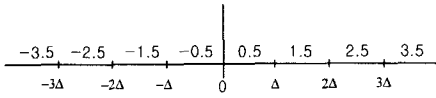
(a) 오프셋이 0인 경우



(b) 오프셋이 $\Delta/2$ 인 경우



(c) signed magnitude를 위한 양자화 방법



(d) 대표값을 확장한 오프셋이 0인 경우

그림 9. 오프셋 적용여부에 따른 3 비트 연성판정 양자화 방법.

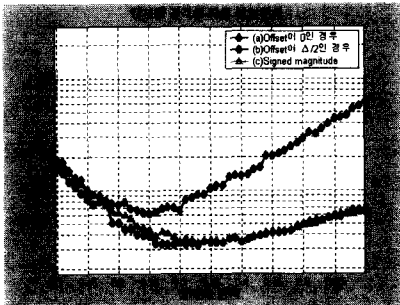


그림 10. 3 비트 연성판정 양자화 간격에 따른 성능분포

위와 같이 3가지 양자화 방법에 대해 최적의 양자화 간격을 찾기 위해 기준 E_b/N_0 를 2.0dB로 하여 시뮬레이션 한 결과 그림 10과 같이 판정 기준 점에 대한 오프셋이 0인 경우 0.25, 오프셋이 $\Delta/2$ 인 경우 0.30 그리고 signed magnitude를 위한 양자화의 경우는 0.30이었다. 그림 9의 (d)는 그림 7의 대표값을 확장한 오프셋이 0인 2 비트 연성판정과 같이 오프셋이 0인 3 비트 연성판정 양자화 방법을 이용 각 구간의 대표값을 -3.5~3.5 사이의 값으로 확장하고 그림 9의 (a) 오프셋이 0인 경우와 마찬가지로 최적 양자화 간격 0.25를 적용한다. 이렇게 결정된 최적의 양자화 간격을 적용하여 각 양자화 방법에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 11의 성능분포를 얻었다.

그림 11에서 10^{-3} 의 BER을 만족하기 위해 판정 기준 점에 대한 오프셋이 $\Delta/2$ 인 양자화 방법의 경우가 2.42 dB이었고, 오프셋이 0인 경우 2.66 dB,

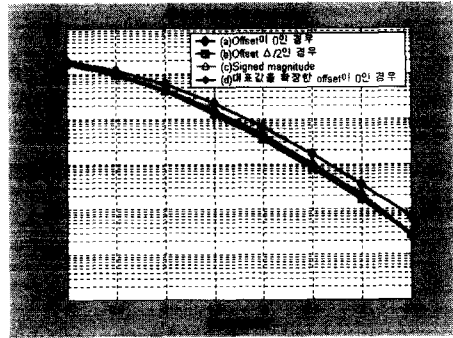


그림 11. 3 비트 연성판정에 따른 성능분석.

signed magnitude를 위한 양자화의 경우는 2.49 dB이었다. 그리고 -3.5~3.5 사이의 값으로 대표값을 확장한 오프셋이 0인 경우 signed magnitude를 위한 양자화 방법과 같은 성능을 가졌다. 이로써 오프셋이 인 양자화 방법은 signed magnitude를 위한 양자화 방법과 유사한 성능을 가졌고 오프셋이 0인 경우에 비해 약 0.24 dB 성능이 좋음을 확인하였다.

연성판정 비트 수가 4 이상인 경우는 수신된 정보 비트를 표현할 수 있는 가짓수가 다양하여 판정 기준 점에 대한 오프셋 크기에 대한 영향을 받지 않는다. 이런 4 비트 연성판정은 IS-95 시스템에서 사용한 연성판정 비트 수로 그림 9의 (a)와 같은 오프셋이 0인 양자화 방법의 경우에 최적 양자화 간격(Δ)을 0.16으로 갖는 각 구간의 대표값은 -7보다 작은 경우 -8로 대표값을 두고, 7보다 큰 경우 7로 대표값을 두어 각 구간에서 -8과 7사이의 대표값을 갖게 된다.

앞에서 살펴보았듯이 2 비트, 3비트 연성판정의 경우 판정 기준 점에 대해 오프셋이 $\Delta/2$ 인 양자화 방법의 성능이 오프셋이 0인 양자화 방법에 대해 각각 0.52 dB와 0.24 dB 만큼 성능 향상이 있음을 알 수 있다.

3.3 반복율에 따른 최적 양자화 간격과 SMT

수신기에 수신된 심벌은 decision device를 거쳐 n 비트의 2의 보수 형태로 양자화 되어 누산기로 입력되고, 송신 데이터 전송속도에 따른 반복 회수에 따라 1, 2, 4, 8번 누산된다. 그러므로 데이터 전송 속도에 따른 반복율에 따라 잡음의 분포(Variance)와 심벌의 크기는 달라지게 되는데, 표 3과 같이 반복율 1을 기준으로 반복율이 2인 경우 잡음의 분포는 2배가 되고 심벌의 크기는 $\sqrt{2}$ 배가 된다. 이처럼 반복율이 m 인 경우 잡음의 분포는 m 배가 되고 심

벌의 크기는 \sqrt{m} 배가 된다. 최적 양자화 간격 또한 심벌의 크기에 비례하여 증가하게 되는데, 표 4.3에서 보듯이 3 비트 연성판정의 경우 반복율이 1일 때, 최적 양자화 간격이 0.3을 기준으로 반복율이 2인 경우 심벌의 크기는 배가 되고 최적 양자화 간격 또한 배 늘어난 0.42가 되어진다.

표 3. 반복율에 따른 최적 양자화 간격

반복율	Accumulated noise variance	Amplitude of accumulated symbol	Optimum step size (3-bit)
1	σ^2	$\sqrt{E_b/2} = \sqrt{1/2}$	0.3
2	$2\sigma^2$	$2\sqrt{E_b/4} = 1$	0.42
4	$4\sigma^2$	$4\sqrt{E_b/8} = \sqrt{2}$	0.59
8	$8\sigma^2$	$8\sqrt{E_b/16} = 2$	0.82

이렇게 반복율 m 에 의한 심벌의 크기는 \sqrt{m} 배가 되고 최적 양자화 간격도 \sqrt{m} 배가 된다. \sqrt{m} 배 되어진 최적 양자화 간격을 이용하여 누산된 심벌을 평가하게 되는데 그림 12과 같이 반복율이 2인 경우에 나올 수 있는 수를 일렬로 늘어놓아 그때의 최적 양자화 간격을 이용하여 0값을 기준으로 하여 양편을 나누게 되고, 어느 이상의 값은 -4와 3의 대표값으로 놓는다.

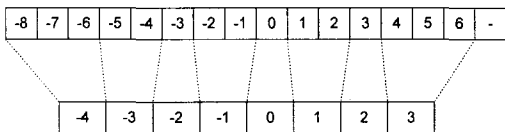


그림 12. 반복율 2의 매핑과정.

표 3의 최적 양자화 간격을 이용한 3 비트 연성판정시 반복율이 1인 경우 나올 수 있는 대표값은 -4~3이다. 데이터 전송속도가 감소하면서 반복율이 2인 경우 -8~6의 값을 얻게 되고, 이를 다시 -4~3으로 rescaling 하는 과정이 필요하게 된다. 표 3에서 얻어진 최적 양자화 간격을 이용하여 반복율에 따라 매핑과정을 거쳐 얻은 값으로 구성된 rescaling을 위한 SMT를 표 4와 같이 고안한다.

IV. 연성판정 비트 수와 전송속도에 따른 성능분석

본 장에서는 IMT-2000 시스템의 순방향 전송속도인 9.6 kbps, 4.8 kbps, 2.4 kbps, 1.2 kbps을 적

표 4. 비트 연성 판정을 위한 SMT

$R_p=8$	-4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4
	-4 -4 -4 -4 -4 -4 -3 -3 -3 -2 -2 -2 -1 -1 0
	0 0 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3
	3 3 3 3 3 3 3 3 3 - - - - - - - -
$R_p=4$	-4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -3 -3 -2 -2 -1 -1 0
	0 0 1 1 2 2 3 3 3 3 3 3 3 - - -
$R_p=2$	-4 -4 -4 -3 -3 -2 -1 -1 0 1 1 2 3 3 3 -
$R_p=1$	-4 -3 -2 -1 0 1 2 3

용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의 파라미터는 다음과 같다.

- 부호율 : 1/2
- 구속장 : K=9, 역추적 길이 : 63(7K)
- 생성다항식 : $g_0 = 753_8, g_1 = 561_8$
- 프레임의 길이 : 20 msec
- 연성판정 비트 수 : 1,2,3,4

4.1 연성판정 비트 수에 따른 성능분석

연성판정 비트 수에 따른 비터비 복호기의 성능을 그림 13에서 분석하였다. 각 연성판정에 대해 BER이 인 점에서를 살펴보면 부동소수점을 사용하는 비터비 복호기 경우 2.19 dB 임을 보이고, 4 비트 연성판정을 사용하는 경우는 2.37 dB, 3 비트 연성판정을 사용하는 경우는 2.42 dB, 2 비트 연성판정을 사용하는 경우는 3.2 dB 이었고, 1 비트 연성판정의 경우는 4.2 dB 임을 볼 수 있다. 부동소수점 판정에 비해 4 비트 연성판정의 경우 약 0.18 dB 성능이 떨어짐을 보이고, 3 비트 연성판정의 경우 약 0.23 dB 성능이 떨어짐을 보인다. 이로써 3 비트/4 비트 연성판정의 경우 부동소수점 판정 비터비 복호기의 성능에 근접할 알 수 있다.

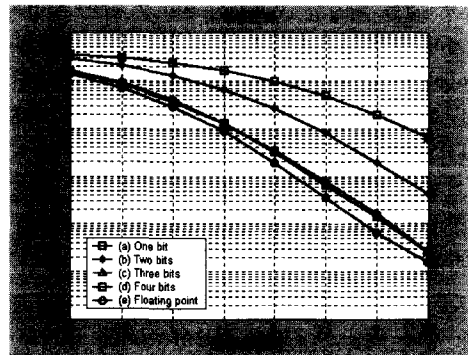


그림 13. 연성판정 비트 수에 따른 비터비 복호기 성능분석.

IS-95 시스템에서 사용된 4 비트 연성판정 성능에 거의 근접하는 3 비트 연성판정을 적용하는 경우 요구되는 입력버퍼의 크기를 3/4으로 줄일 수 있고, 이를 IMT-2000 시스템과 같이 입력 버퍼가 많이 요구되어지는 시스템에 적용하여 그 입력 버퍼의 크기를 효과적으로 줄일 수 있다.

4.2 전송속도에 따른 성능분석

표 4의 SMT를 적용하여 데이터 전송속도에 따른 3 비트 연성판정 비터비 복호기의 성능을 그림 14에서 살펴보면, BER이을 만족하기 위한 데이터 전송속도에 따라 9.6 kbps인 경우 2.42 dB, 4.8 kbps인 경우 2.42 dB, 2.4 kbps인 경우 2.3 dB, 1.2 kbps인 경우 1.72 dB임을 확인 하였다. 이로써, 데이터 전송속도가 감소할수록 반복 누산 회수가 증가하여 그 심벌의 크기가 커져 비터비 복호기의 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

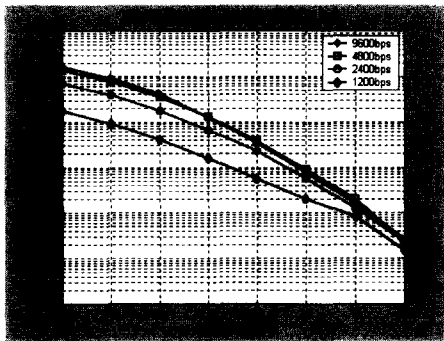


그림 14. 3 비트 연성판정의 데이터 전송속도에 따른 성능 분석.

V. 결론

본 논문에서는 시스템에서 요구되어지는 연성판정 비터비 복호기의 다양한 길쌈부호의 부호율, 데이터 전송속도 증가, 그리고 연성판정 비트 수에 따라 입력 버퍼의 크기가 증가하므로 성능 저하를 줄이면서 연성판정 비트 수를 4 비트에서 3 비트로 낮추기 위하여 오프셋 적용에 따른 양자화 방법과 최적 양자화 간격을 적용하여 비터비 복호기의 성능을 AWGN 환경에서 성능을 살펴보았다. 그 결과 오프셋이 1/2인 양자화 방법의 성능이 오프셋이 0인 방법에 비해 향상됨을 알았고, 그에 대한 최적 양자화 간격을 구하여 연성판정 비트 수를 달리 주어 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션을 통해 IS-95에 사용된 4 비트 연성판정 성능에 근접하는 3 비트

연성판정을 제시하였고 그로써 입력 버퍼의 크기를 줄일 수 있게 되었다. 또한 제시된 3 비트 연성판정의 경우 다양한 데이터 전송속도에 따라 누산 반복된 증가 비트를 3 비트로 표현하도록 SMT를 고안 하였다.

참고 문헌

- [1] TIA/EIA Interim Standard(IS-2000-1), Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, August, 1999.
- [2] Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems - Release A, 3GPP2 C.S0002-A, Version 55, December 15, 1999.
- [3] IMT-2000 동기 MC Forward/Reverse Link 길쌈부호 시스템 규격, ETRI 기술문서, 2000년 3월.
- [4] IMT-2000 비동기 모뎀에서의 채널 코딩 규격, ETRI 기술문서, 2000년 3월.
- [5] 송상섭, "3 비트 연성 판정을 사용하는 비터비 복호기에 관한 연구", 최종보고서, ETRI, 2000년 11월.
- [6] 전인산, 연광일, 이익수, 임인기, "비터비 복호기의 가지 메트릭 구조," ETRI 발명요약서, 1998년 9월.
- [7] 정승훈, 이현주, 정인택, 주유상, 노예철, 박장현, 송상섭, "W-CDMA 방식 PCS의 이동국용 SVD 설계," 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, vol.18, No.2, pp.226~260, 1994년 11월.
- [8] 지현순, 정승훈, 고재영, 신동관, 박동선, 송상섭, "Viterbi 복호기의 병렬 ACS를 위한 메모리 최적구조," 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, vol.17, No.2, pp.257~260, 1994년 11월.
- [9] 김정, 고재영, 강범주, "CDMA용 Viterbi 복호기의 최적구조," 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, vol.17, No.1, pp.23~26, 1994년 7월.
- [10] 하영일, 신동관, "비터비 디코더상에서 심볼 메트릭 테이블의 디자인," 통신정보 합동학술대회 (JCCI-'94) 논문집, 제4권, 1994년
- [11] Andrew J. Viterbi, "Convolutional Codes and Their Performance in Communication Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-19, no. 5, Oct. 1971.
- [12] Heller and Jacobs, "Viterbi Decoding for

Satellite and Space Communication," *IEEE Trans. on Commun. Tech.*, vol. COM-19, no. 5, pp.835-848, Oct. 1971.

- [13] I.M. Onyszchuk, k.M. Cheung, and O. Collins, "Quantization Loss in Convolutional Decoding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41. no. 2, Feb. 1993.
- [14] John G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1994.
- [15] Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, 1988.
- [16] Stephen B. Wicker, *Error Control Systems for Digital Communication and Storage*, Prentice Hall, 1995.
- [17] William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky and Willian T. Vetterling, *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press, 1988.

송 상 섭(Sang-Seob Song)

정회원



1978년 2월 : 전북대학교
전기공학과 석사

1980년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과 석사

1990년 8월 : University of
Manitoba, Department
of Electrical and

Computer Engineering, 박사

1991년 3월~현재 : 전북대학교 전자공학과 교수

<주관심 분야> 채널부호이론, 고속전송기술, 무선멀
티미디어 전송 기술

최 은 영(Eun-young Choi)

학생회원



2000년 2월 : 전북대학교
전자공학과 학사

2000년 3월~현재 : 전북대학교
전자공학과 석사과정

<주관심 분야> 채널 CODEC,
무선 접속 모델

정 인 택(In-Tak Jeong)

정회원



1978년 2월 : 전북대학교
전기공학과 석사

1997년 2월 : 전북대학교
전자공학과 석사

2001년 8월 : 전북대학교
전자공학과 박사

현재 : KT 가입자망 연구소 연구원

<주관심 분야> 통신시스템 및 부호이론, xDSL 모
델설계