
IMT-2000용 비터비 복호기의 효율적인 설계

정인택*, 송상섭**

Design of Viterbi Decoder for IMT-2000

In-Taek Jeong, Sang-Seob Song

요 약

기존 IS-95 시스템과 달리 IMT-2000 시스템에서 사용되는 길쌈부호는 다양한 부호율을 가지며, 데이터 전송속도(최대 384 kbps) 또한 다양하다. 그리고 채널 부호화된 심볼들은 심볼율을 정합하기 위하여 최대 8번 반복하여 전송된다. 이로 인해 IMT-2000 시스템은 IS-95 시스템에 비해 데이터율이 최대 40배, 입력 버퍼가 80배 증가하게 된다. 이러한 하드웨어의 복잡도를 줄이기 위해 IS-95 시스템에서 채용된 비터비 복호기의 4비트 연성판정을 대체할 수 있는 3비트 연성판정이 필요하다.

이에 대해, 본 논문에서는 IMT-2000 시스템에 적용할 수 있으며, 4비트 연성판정 비터비 복호기를 대체할 수 있는 3비트 연성판정 비터비 복호기 구조를 제시하며, 심볼 반복율에 따라 증가된 심볼 표현을 위한 비트 수를 3비트로 표현할 수 있는 새로운 SMT(Symbol Metric Table)를 생성한다.

ABSTRACT

Convolutional code and turbo code are used in the forward and backward link of IMT-2000. In this research, we will be in consideration of Viterbi algorithm

In this paper, we design Viterbi decoder with 3-bits soft decision and SMT for the convolutional code in the forward link and backward link of IMT-2000 system. The major parameters of 3-bits Viterbi decoder is determined by simulation to have identical performance with the 4-bit soft decision Viterbi decoder.

* 전북대학교 전자공학과

** 전북대학교 전자정보공학부

접수일자: 2001. 3. 14

I. 서론

기존의 음성 데이터 전송만을 목표로한 IS-95 시스템과는 달리 IMT-2000 시스템은 음성뿐만 아니라 여러 종류의 다양한 서비스를 제공하도록 각종 이동 통신 망 및 서비스들을 하나로 통합한 시스템이다.

이러한 IMT-2000 시스템은 IS-95 시스템에 비해 데이터율이 최대 40배 빠르며, 길쌈부호의 부호율 또한 IS-95 시스템에 비해 다양하다. 즉, 부호율은 IS-95가 2종류인데 반하여 IMT-2000은 4종류이다. 따라서, 20 ms 프레임에 들어있는 수신된 비트 수를 계산하면, IMT-2000 시스템의 경우 IS-95 시스템보다 약 80배 정도의 많은 비트 수를 갖고 있다. 이로 인해, IMT-2000 시스템은 한 프레임에 대한 입력 버퍼크기가 IS-95 시스템의 80배이다.

따라서, IMT-2000 시스템의 동기 MC 방식에서 단일 칩 ASIC 설계를 위해서는 IS-95에서 채용된 4 비트가 아닌 3 비트 연성판정을 사용을 필요하고 있다.

이에 대해, 본 논문에서는 IMT-2000 시스템에 사용되는 3 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기에 대한 연구를 통하여 수신된 정보를 3 비트로 연성판정하여 성능을 분석하고, 데이터율에 따라 수신단의 누산기(accumulator)에서 반복된 회수로 인해 4, 5, 6 비트로 증가된 수신 정보 비트를 3비트로 표현할 수 있는 새로운 SMT를 고안하여 그 성능을 분석한다. 그리고 위의 조건들을 이용하여 4 비트 비터비 복호기와 유사한 성능을 갖는 3 비트 비터비 복호기의 주요 매개변수를 시뮬레이션을 통하여 결정한다.

II. IMT-2000 시스템의 길쌈부호

IMT-2000 시스템에서는 오류정정 부호로 길쌈 부호와 터보 부호를 사용하며, 길쌈 부호의 복호기로는 비터비 복호기를 사용한다.

동기 MC 방식의 길쌈 부호 규격을 spreading rate 3을 중심으로 하여 살펴 보면, 표 1과 같이 순방향 링크에서는 구속장(K)이 9, 부호율(R)이 1/6, 1/4, 1/3, 1/2인 길쌈부호를 지원한다. 그리고 역방향 링크에서는 구속장이 9, 부호율이 1/4인 길쌈부호를 지원한다. 또한 16, 12, 10, 8, 6 비트의 CRC 비트를 사용하며, 데이터율에 따라 심볼 반복 및 천공율이 정해지게 된다.

표 1. 순방향 링크의 오류 정정 방식

순방향 채널	오류정정	부호율(R)
Sync	길쌈부호	1/2
Broadcast	길쌈부호	1/3
Common Assignment	길쌈부호	1/3
Forward Common Control	길쌈부호	1/3
Forward Dedicated Control	길쌈부호	1/6,1/3,1/4,1/2
Forward Fundamental	길쌈부호	1/6,1/3,1/4,1/2
Forward Supplemental	길쌈부호	1/6
	길쌈/터보 부호	1/3,1/4,1/2

IMT-2000 시스템에서 길쌈부호의 데이터율은 최대 384 kbps로 IS-95 시스템의 9.6 kbps보다 약 40 배정도 빠르며, 부호율은 표 1에서와 같이 다양한 종류를 갖고 있다. 이러한 데이터율과 부호율을 적용한 프레임 당 비트 수는 식 (1)로부터 계산할 수 있다.

$$M = C \times T_f \times R_{cc}^{-1} \times N_s \dots\dots\dots (1)$$

여기서, M은 연성판정된 한 프레임의 총 비트수, C는 전송속도(384 kbps - 9.6 kbps), T_f 는 프레임 길이(20 ms, 10 ms, 5 ms)을 나타내며, R_{cc}^{-1} : 부호율의 역수(2, 3, 4, 6), N_s : 연성판정 비트수(4, 3)을 나타낸다.

식 (1)로부터 IS-95 시스템과 IMT-2000 시스템의 한 프레임의 최대 비트수를 비교해 보면 다음과 같다. IS-95의 경우 $C=9.6\text{kbps}$, $T_f=20\text{ms}$, R_{cc}^{-1} , $N_s=4$ 일 때, M은 576개의 4 비트 심볼을 갖으며, 약 2 kbits이다. 그리고 IMT-2000 경우 $C=384\text{ kbps}$, $T_f=20\text{ms}$, $R_{cc}^{-1}=6$, $N_s=4$ 이며, M은 IS-95의 80 배의 심볼을 갖으며, 약 160 kbits 이다.

따라서, IMT-2000 시스템의 경우, 비터비 복호기의 한 프레임 신호를 위한 입력 버퍼가 약 160 kbits 가 필요하다.

III. 비터비 복호기

비터비 복호기는 입력 심볼 열에 대한 가장 유사한 복호 열을 찾는 것으로 확률의 누적적인 상태값을 발생 가능한 모든 경로에 대하여 계산하고 두 개의 경로가 만났을 때, 큰 경로값을 갖는 경로를 선택하여

가장 유사한 심볼 열을 역추적과정을 통하여 복호하는 방식이다.

이에 대한 비터비 복호기는 크게 BM(Branch Metric)부, ACS(Add Compare Select)부, TB(Trace Back)부의 3개의 모듈로 나뉘어 설명할 수 있다.

(1) BM부

BM부의 주 기능은 변환된 입력 심볼과 상태천이에 따라 발생하는 각 가지의 부호어에 대응하는 심볼과의 SED(Squared Euclidean Distance)를 구하는 것으로 구속장이 K인 경우 2^{K-1} 개의 가능한 상태가 존재한다.

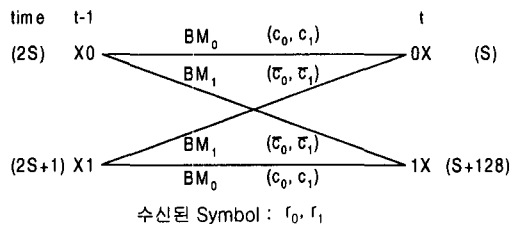


그림 1. 부호율 1/2, K=9인 격자 구조

그림 1에서 X는 시간 t-1에서 K=9인 부호어의 K-1개의 시프트 레지스터중 최하위 비트를 제외한 나머지 비트 값을 의미하며 0에서 127의 값을 갖는다. 시간 t에서 상태값은 입력에 따라 1인 경우 1X로, 0인 경우 0X로 천이한다. 본 논문에서는 가지값 계산시 SED의 증가인 식 (2)을 사용한다.

$$\frac{-r_i c_i + |r_i|}{2} = \begin{cases} |r_i|, & c_i, r_i \text{ 동부호} \\ 0, & c_i, r_i \text{ 이부호} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

(2)ACS부

ACS부에서는 현재상태 X0, X1에서 다음 상태의 경로값(Path Metric) PMOX, PMIX를 구하고 최소 경로값을 갖는 상태를 구하여 TB부로 출력하고 경로값을 갱신한다. 최소 경로값을 갖는 상태 즉, 생존 경로를 선택하여 시간 t-1에서의 상태의 최하위 비트를 TBM(Trace Back Memory)에 저장함으로써 TBM을 확장한다. ACS에서 상태값을 갱신하는 과정은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} PMOX &= \text{Min}(PMX0 + BM0, PMX1 + BM1) \\ PMIX &= \text{Min}(PMX0 + BM1, PMX1 + BM0) \end{aligned} \dots\dots (3)$$

(3) TB부

TB(Trace Back)부는 ACS부에서 구한 최소 경로값의 상태를 받아 이 값을 초기값 역추적 알고리즘을 수행하여 입력 정보 비트를 찾는다. 역추적 과정은 S(t)에서의 상태를 왼쪽으로 이동시킨 후, TBM으로부터 읽어온 값을 LSB에 첨가하여 S(t-1)에서의 상태를 구한다. 이때, 상태 S(t)의 MSB는 S(t-1)에 들어온 입력 정보 비트이다.

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

IV. 3 비트 연성판정 비터비 복호기

본 논문에서는 3비트 연성판정 비터비 복호기를 위하여 새로운 SMT를 정의하며, 가지값 계산을 위한 효율적인 구조를 제시한다.

(1) Rescale 부

3비트로 연성판정된 심볼들은 그림 2에서와 같은 Rescale 부로 입력된 후 누산기에서 심볼의 반복회수에 따라 1, 2, 4, 8번 누산 된다.

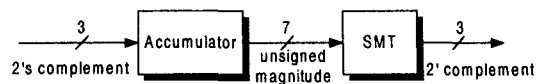


그림 2. Rescale 부의 기능블록도

그 결과 심볼을 표현하는 비트 수가 각각 3, 4, 5, 6비트로 증가하게 되므로 심볼의 크기를 3비트로 표현하기 위한 재평가 과정이 필요하다. 그림 2의 누산기에서 누산된 값은 unsigned magnitude 형태로 표현되어 SMT의 주소를 나타낸다. 이 때, SMT는 입력주소에 따라 3비트인 2의 보수형태의 심볼을 출력한다.

표 2. 3비트 연성판정을 위한 SMT

SMT 주소		000	001	010	011	100	101	110	111
0b ₅ b ₄ b ₃ b ₂ b ₁ b ₀	0000	0	0	1	1	2	2	3	3
	0001	3	3	3	3	3	3	3	3
	0010	3	3	3	3	3	3	3	3
	0011	3	-	-	-	-	-	-	-
	0100	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	0101	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	0110	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	0111	-3	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
10b ₄ b ₃ b ₂ b ₁ b ₀	1000	0	1	1	2	2	3	3	3
	1001	3	3	3	3	3	-	-	-
	1010	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	1011	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-2	-1
110b ₃ b ₂ b ₁ b ₀	1100	0	1	2	3	3	3	3	-
	1101	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-2	-1
1110b ₂ b ₁ b ₀	1110	0	1	2	3	-4	-3	-2	-1

이에 대한 예로서 심볼 반복회수가 4인 경우 입력 심볼이 101(-3), 110(-2), 011(3), 111(-1)이라면, 먼저 심볼 각각을 5 비트로 부호확장을 한다. 이로 인해, 입력 심볼은 11101(-3), 11110(-2), 00011(3), 11111(-1)이 되며, 2의 보수에 대한 덧셈 연산을 수행한 결과는 11101(-3)이 된다. SMT의 주소를 생성하기 위해 상위 두 비트 "10"을 추가하여 "1011101"을 만들고 시뮬레이션을 통해 얻어진 표 2의 SMT를 참조한다. 그 결과 SMT의 출력은 2의 보수 형태인 110(-2)이 된다.

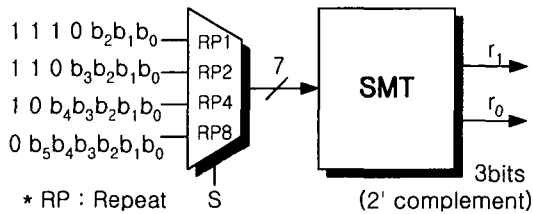


그림 3. SMT의 기능 블록도

표 2는 본 연구에서 3 비트 연성판정을 위해 제안된 SMT로서 누산기에서 생성되는 주소에 저장된 2의 보수 형태의 심볼을 십진수 형태로 표시하고 있다. 그리고 그림 3은 위의 동작에 대한 기능 블록도이다. 그림에서 SMT 주소 중 '0'과 '1'은 주소발생의 중복을 방지하기 위하여 삽입되었다.

(2) BM 부

BM부에서는 Recale부에서 변환된 입력 심볼과 상태천이에 따라 발생하는 각 가지의 부호어에 대응한 입력 심볼과의 SED를 구하며, 이는 일반적으로 III장의 (1) BM부에서와 같이 계산된다.

BM부에서는 가지값을 계산하기 위해 매 시간마다 상태천이에 따라 상태 수만큼 연산이 이루어지며, 이때 발생하는 가지값의 종류는 부호율에 따라 한정된다. 그러므로 가지값의 계산을 look-up 표 방식으로 다음과 같이 구현할 수 있다.

표 3. BM의 look-up 표

C0 C1	BMT[C ₀ C ₁]
00	BM ₀₀
01	BM ₀₁
10	BM ₁₀
11	BM ₁₁

예로, 부호율이 1/2인 경우를 고려해 보자. 상태천이에 따라 발생가능한 부호어의 종류는 표 3에서와 같이 4가지이다. 그러므로 수신된 심볼 r₀, r₁에 대하여 발생 가능한 부호어에 대한 4가지의 가지값을 계산하여 표 3과 같이 저장한 후 상태천이를 나타내는 부호어에 따라 BM look-up 표를 참조하여 가지값을 구할 수 있다.

$$BM_0 = BMT[C_0 C_1]$$

$$BM_1 = BMT[C_0 C_1]$$

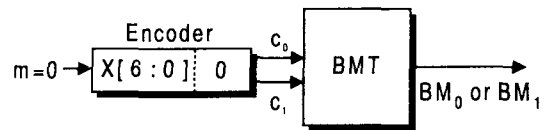


그림 4. BM look-up 표를 이용한 BM 계산

그림 4는 위의 동작을 나타내는 기능블록도이다. 그림 4의 인코더에서 현재상태(X[6:0])와 입력 m=0에 의해 계산되는 상태천이인 부호어(C₀, C₁)은 모든 상태에 대해 계산되어야 한다.

본 논문에서는 이를 보다 효율적으로 계산하는 방법을 소개한다. 먼저 모든 상태인 0-255에 대한 패리티를 계산한다. 즉, 2진수 표현의 각 상태번호에 '1'이

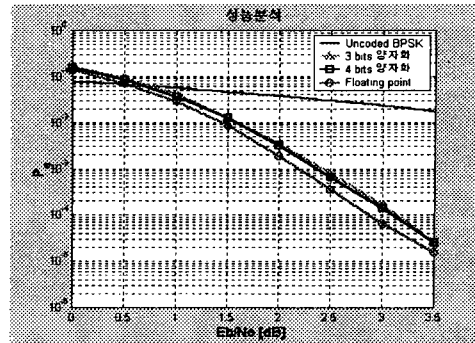
짝수 개있으면 '1'값으로, '1'이 홀수 개있으면 '1'로 패리티를 정의하여 각 상태번호에 저장한다. 그리고 패리티가 저장된 주소는 생성다항식 g_0, g_1 과 현재 상태값(X_0)과의 AND연산으로 구할 수 있으며, 각 주소에 해당하는 패리티가 부호어 C_0, C_1 이 된다.

예로 " $g_0=11101011$ ", " $g_1=01110001$ ", " $X=1000000$ " 일 때, 그림 1의 나비선도에 대한 상태값을 구해보자. 먼저, $X_0(1000000) \text{ AND } g_0(11101011)=V10000000$ 이며, 이 주소의 패리티는 '1'이다. 그리고 $X_0(1000000) \text{ AND } g_1(01110001)="00000000"$ 이며, 이 주소의 패리티는 '0'이다. 이로 인해, 부호어 $C_0 C_1="10"$ 이 되며, 나비선도의 특성상 4개의 부호어를 모두 알게된다.

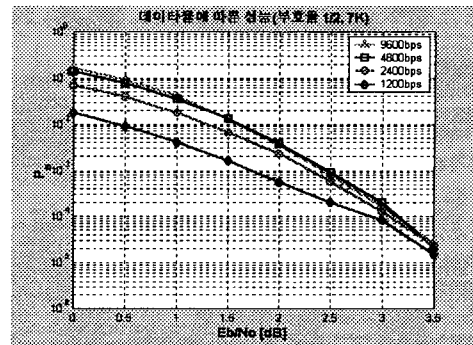
(3) 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시된 3 비트 연성판정 비터비 복호기와 IS-95 시스템에 채용된 4 비트 연성판정 비터비 복호기와의 성능 비교를 위해 9600 bps를 기준으로 수행하였다. 사용된 입력 정보 비트수는 9600bps, 20ms를 기준으로 20,000 프레임에 해당하는 3,840,000 비트에 대하여 수행하였으며, 비터비 복호기의 부호율은 1/2, 구속장 $K=9$, 최대 역추적 길이는 63이다. 생성다항식은 $g_0=753_8, g_1=561_8$ 을 사용하였다.

그림 6(a)는 부동소수점으로 구현된 비터비 복호기와 3/4 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기의 성능을 나타내고, 그림 6(b)는 데이터율에 따른 3 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기의 성능을 고안된 SMT를 적용하여 시뮬레이션 한 것이다. 먼저 부동소수점을 사용하는 비터비 복호기의 경우 BER이 10^{-3} 에서 E_b/N_0 가 2.19dB로 채널 부호화를 하지 않은 BPSK에 대해 4.6dB의 부호이득을 보이고, 4 비트 연성판정을 사용하는 경우 E_b/N_0 가 2.37dB로 4.42dB의 부호이득을 보이고 있다. 그리고 3 비트 연성판정을 사용하는 경우 E_b/N_0 가 2.42 dB로 4.37dB의 부호이득을 보임으로서 3 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기의 성능이 4 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기의 성능에 근접함을 알 수 있었다.



(a) 3 비트와 4 비트 양자화의 성능비교



(b) 3 비트의 데이터율 별 성능분포

그림 7. 양자화와 데이터율에 따른 성능분포

V. 결론

본 논문에서는 고속화로 인한 입력 버퍼의 크기와 하드웨어 복잡도 증가를 감소시킬 수 있는 IMT-2000용 비터비 복호기 연구하였다. 이를 기존의 4 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기에 근접하는 성능을 보이도록 AWGN 채널에서의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그리고 SMT를 고안하여 데이터율에 따른 반복회수로 인한 증가된 정보 비트수를 3 비트로 다시 표현하였다. 그 결과로 BER이 10^{-3} 일 때, 연구를 통해 얻은 3 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기의 성능이 4 비트 연성판정을 사용하는 비터비 복호기의 성능에 거의 근접함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] TIA/EIA Interim Standard(IS-2000-1), Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, August, 1999.
- [2] 정승훈, 정인택, 송상섭, "W-CDMA 방식 PCS의 이동국용 SVD 설계," 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, Vol.18, No.2, 1994년 11월.
- [3] 하영일, 신동관, "비터비 디코더 상에서 심볼 매트릭 테이블의 디자인," 통신정보 합동학술대회(JCCI-'94) 논문집, 제4권, 1994년
- [4] I.M. Onyszchuk, K.M. Cheung, "Quantization Loss in Convolutional Decoding," IEEE Trans. Comm., Vol. 41. no. 2, Feb. 1993.
- [5] Stephen B. Wicker, Error Control Systems for Digital Communication and Storage, Prentice Hall, 1995.



정 인 택(In-Taek Jeong)
1994년 순천대학교 전자공학과 공
학사
1997년 전북대학교 전자공학과 공
학석사
1997~현재: 전북대학교 전자공학
과 박사과정

※주관심분야 : 고속 DSL 모델설계, 부호이론 등



송 상 섭(Sang-Seob Song)
1978년 2월 전북대학교 전기공학
과 공학사
1980년 2월 KAIST 전기 및 전자
공학과 공학석사
1986년 8월~1990년 8월:

Department of Electrical and Computer Engineer-
ing, University of Manitoba

1981년 3월~현재: 전북대학교 전자정보 공학부 교수

1994년~1996년: 전북대학교 공과대학 부학장

※주관심분야 : xDSL 모델, Home Network, 채널
부호, Gigabit Ethernet