

적응형 위성방송용 프래그메틱 트렐리스 부호화기 VHDL 설계

VHDL Design of Pragmatic Trellis Coded Modulation for Adaptive Satellite Broadcasting

정 지 원

Ji-Won Jung

요 약

본 논문에서는 초고속 위성 방송 서비스를 위한 DVB 및 ISDB 시스템에 적용되는 채널 부호화 방식의 성능 분석과 VHDL 모델링을 하였다. 또한 구현을 위한 다양한 부호화율($R=2/3, 5/6, 8/9$ TC-8PSK)을 가지는 부호화기의 최적 설계 파라미터를 제시하였고, 이를 기반으로 VHDL 모델링을 하였다. VHDL 시뮬레이션을 통해 복호기의 하드웨어 동작의 유효성을 검증하였으며, 복호기 인터페이스를 설계하였다.

Abstract

In this paper, we analyzed the channel coding scheme of DVB and ISDB standard for high-speed satellite broadcasting. Also, this paper proposed optimal parameters of decoder with variable coding rate for implementation. According to the optimal parameters, the pragmatic TCM of rate 2/3, 5/6, 8/9 was modeled by VHDL. The results designed by VHDL can be verified.

Key words : DVB, ISDB, Channel Coding, VHDL

I. 서 론

기존의 Ku 대역을 이용한 위성 방송 시스템은 DVB(Digital Video Broadcasting) 규격에 따라 길썬 부호와 RS 부호를 결합한 연접부호를 사용하고 있으며, TS(Transport Stream) packet 형태가 정해져 있어 강우 감쇠의 양에 따라 능동적으로 대처할 수가 없다^[1]. 그러나 강우 감쇠의 양에 따라 부호 및 변조 방식을 능동적으로 대처하기 위해 표준화 작업중인 ISDB(Integrated Services Digital Broadcasting) 시스템에서는 다양한 부호화율 및 변조방식을 제안하고 있다. DVB와 ISDB에 공통적으로 적용되는 부호화율 가운데 본 논문에서는 $R=2/3, 5/6, 8/9$ 의 구현에 중점을 두어 연구하였다. 구현시 고려사항은 구현의 복잡도 및 비용, 적응형 부/복호기 알고리즘의 선택

및 성능 분석, 고속 처리에 따른 신호지연, 부/복호 방식, 구현에 따른 성능분석 등 사전 분석이 요구된다. 강우 감쇠가 높은 경우 최소한의 음성서비스만이라도 가입자에게 제공함으로써 위성방송 서비스의 지속적인 제공을 위해 계층적인 부호화 및 변조 방식 또한 필요하다. 계층적인 부호화 방식은 다양한 부호화 방식이 각 프레임에 적용되는데 본 논문에서 DVB, 규격에 제시된 Pragmatic TCM에 관한 연구를 한다. 또한 Pragmatic TCM의 최적 설계 파라미터를 제시하였고, 부호화율 2/3, 5/6, 8/9를 가지는 Pragmatic TCM을 VHDL 모델링을 하였다. VHDL 시뮬레이션을 통해 복호기의 하드웨어 동작의 유효성을 검증하였으며, 전체적인 적응형 복호기 구조 설계를 하였다.

II. 1 DVB 및 ISDB 시스템

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20030719-106

· 수정완료일자 : 2003년 11월 28일

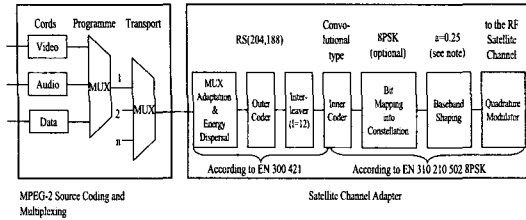


그림 1. DVB 전송 규격
Fig. 1. DVB Transmission Specification.

그림 1은 DVB EN 301 201 규격에 있는 전송단 블록도이다^[1]. 외부부호로는 RS(204, 188, T=8) 단축 코드가 에러 보호 패킷을 발생하기 위하여 각각 랜덤화된 전송 패킷(188바이트)에 적용된다.

내부 부호로는 구속장 $K=7$ 을 가지는 부호화율 1/2인 convolutional 코드를 기초로 한 평처드된 convolutional 부호와 서비스와 데이터율에 따라 여러 정정의 가장 적절한 레벨을 선택하여 적용한다. ISDB는 그림 2와 같이 여러 서비스의 MPEG-TS들로 구성된 주 신호(Main Signal)와 적용된 변조 기법 및 채널 부호화 기법을 수신기가 알 수 있도록 하는 TMCC 신호(Transmission and Multiplexing Configuration Content Signal) 및 수신기가 어떤 조건 하에서도 반송파 복구를 안전하게 하는 버스트 신호(Burst Signal) 등으로 구성되어 있으며 이를 전송시 TDM 방식으로 멀티플렉싱 되어 전송된다^[2].

각 TS는 203 byte로 구성되어 있고 이들 슬롯을 형성하는 48개의 슬롯이 1개의 프레임, M 개의 프레임에 하나의 슈퍼 프레임으로 구성된다. TMCC 신호는 그림 3과 같이 각 슬롯의 modulation-code 조합 정보, 각 슬롯의 MPEG-TS identification 정보, 그 외에 변경(order of change), 긴급 사고시 원활한 방송을 위한 플래그 비트 등을 포함하고 있다. 표 1은 Modulation-code 조합의 워드 할당을 나타낸다.

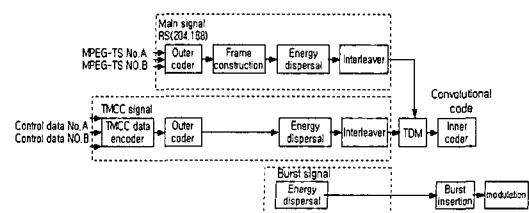


그림 2. ISDB 시스템
Fig. 2. ISDB System.

Order of change	Modulation code combination for each slot	Relative TS ID For each slot	Corresponding table between relative TS_ID and MPEG-TS_ID	Other information
5 bits	40 bits	144 bits	128 bits	62 bits
← 384 bits (48 bytes) →				

그림 3. TMCC 신호
Fig. 3. TMCC Signal.

표 1. Modulation-code 조합의 워드 할당
Table 1. Assignment of modulation-code combination.

Word	Modulation-code combination
0000	Reserved
0001	BPSK($r=1/2$)
0010	QPSK($r=1/2$)
0011	QPSK($r=2/3$)
0100	QPSK($r=3/4$)
0101	QPSK($r=5/5$)
0110	QPSK($r=7/8$)
0111	TCB-PSK($r=2/3$)
1000 ~ 1110	Reserved
1111	Dummy

III. R=2/3, 5/6, 8/9을 가지는 PTCM 분석

적용형 시스템에서는 BPSK와 QPSK 변조시 convolutional 부호와 Viterbi 복호기를 사용하며, 8PSK 변조에서는 TCM 부호를 사용하므로 복호시 동일한 Viterbi 복호기를 사용할 수 있다면 효율적이다. 따라서(2, 1, m) 할 수 있는 Pragmatic TCM 복호방법이 Ungerboeck TCM 복호 방법보다 ASIC의 복잡도를 줄일 수 있다. 본 절에서는 DVB, ISDB에 적용되는 다양한 부호율을 가지는 Convolutional code와 TC-8PSK에 대해 연구를 하였으며, 특히 Viterbi 복호기 하나를 가지고 TC-8PSK로 복호할 수 있는 Pragmatic TCM에 관한 성능 분석을 하였다.

3-1 부호기 구조와 복호기 구조

부호화되지 않은 NE 신호는 심볼 sequencer를 거쳐 각각의 비트는 변조된 심볼로 변환된다. 부호화된 신호는 $R=2/3$ 의 비율로 convolution 부호화를 거쳐 처리되며, 그림 4는 Pragmatic 부호기의 기본 블록도이다. Pragmatic 부호화율 R 은 그림 4의 convolutional 부호의 부호율 r , NE , E 에 따라서 표 2에

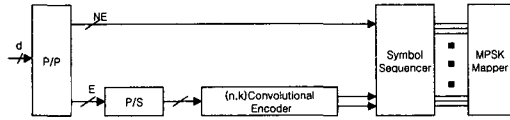


그림 4. Pragmatic 부호기의 블록도
Fig. 4. Blockdiagram of Pragmatic Encoder.

표 2. Pragmatic 부호화율 R
Table 2. Pragmatic Encoding Rate R.

$d(\text{bit})$	$NE(\text{bits})$	$E(\text{bits})$	r	R
2	1	1	1/2	2/3
5	3	2	1/2	5/6
8	6	2	2/3	8/9

나타내었다.

3-2 복호기의 구조

Pragmatic 복호기는 그림 5와 같이 비터비 복호기와 sector phase 와 soft decision, convolutional 재부호기로 구성된다^[3].

Sector Phase Quantizer는 각 성상도를 8분할해서 들어오는 수신신호가 어느 위치에 있는가를 나타내며, 각 섹터에서 QPSK 형태로 soft decision하여 Viterbi 복호기에 입력된다. 복호된 비트를 다시 재부호화 하여 비부호화 비트를 복호한다. $R=5/6, 8/9$ 의 복호기는 $R=2/3$ 의 구조와는 조금 다르다. $R=2/3$ 일 때 재부호화된 2 bit를 이용해서 비부호화 1비트를 복호하는 반면, $R=5/6, 8/9$ 일 때는 재부호화된 1 bit를 이용해서 비부호화 2비트를 복호한다. Viterbi 복호기의 출력이 2 bit이므로, 그림 6과 같이 복호기의 출력까지 수신되는 신호의 영역 결정(B_0, B_1)의 정보는 버퍼에 저장하고 재부호화된 비트가 '0', '1'에 따라 B_0, B_1 을 결정하여 비부호화된 2 bit를 복호한다.

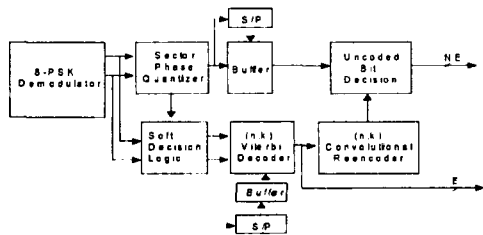


그림 5. Pragmatic 복호기의 구조
Fig. 5. Structure of Pragmatic Decoder.

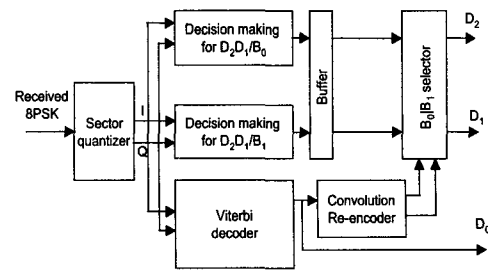


그림 6. $R=5/6$ 와 $8/9$ 일 때의 복호기 구조
Fig. 6. Decoder Structure for $R=5/6, 8/9$.

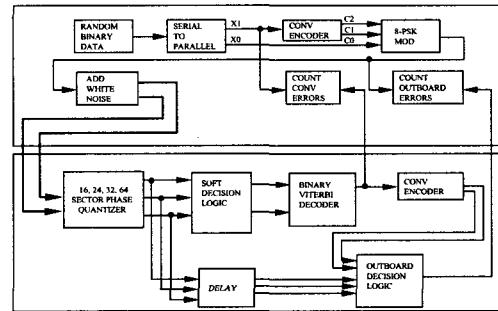


그림 7. $R=2/3$ 일 때 pragmatic TCM의 부복호기 구조
Fig. 7. Structure of Pragmatic Encoder/Decoder for $R=2/3$.

$r=5/6, 8/9$ 의 성상도는 LSB가 항상 변해야 하므로 이의 성상도 또한 $R=2/3$ 일 때와 다르다.

부복호기 구조를 상세히 알아보기 위해 $R=2/3$ 일 때를 살펴보면, 그림 7은 부호화율 2/3를 가지는 Pragmatic TCM의 부복호기 구조를 나타내었다. 수신된 8PSK 신호를 sector phase quantizer에서 QPSK 신호배치로 전환하여 3 bit soft decision 신호를 (2, 1, 7) Viterbi 복호기를 이용하여 X_1 를 복호하고, 그리고 다시 재부호하여 비부호화 비트에 대한 정보를 제공하여 나머지 X_0 를 복호한다.

Pragmatic TCM 복호를(2, 1, m) Viterbi 복호기를 이용할 수 있도록 하려면 수신되는 8PSK 신호 배치를 QPSK 신호 배치로 바꾸어 양자화 하여야 한다^[5]. 즉, 그림 8은 C_0 는 부호화되지 않은 비트이고, C_1 과 C_2 는 convolutional 부호화된 비트의 8PSK 성상도와 그에 따른 56 sector로 나눈 3 bit 연관정한 것을 나타낸다. 또 3비트로 양자화하여 기준 매핑점으로 표현한다. 3비트로 연관정된 기준신호에 의하며 I(In-phase)와 Q(Quadrature) 값의 영역에 따라 수신되는 신호의 연관정 영역을 결정할 수 있음을 알 수 있다.

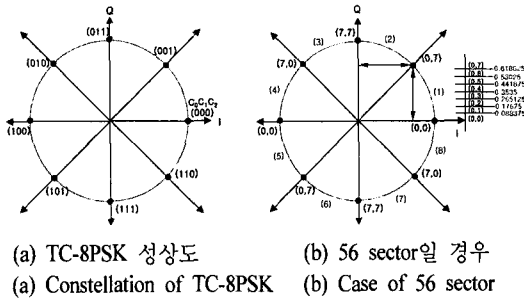


그림 8. TC-8PSK 정상도 및 soft decision 비트 할당
 Fig. 8. TC-8PSK Constellation and Assignment of Soft Decision Bits.

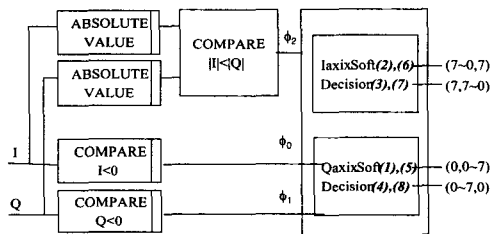


그림 9. Sector phase quantizer와 soft decision mapping block
 Fig. 9. Sector phase quantizer and soft decision mapping block.

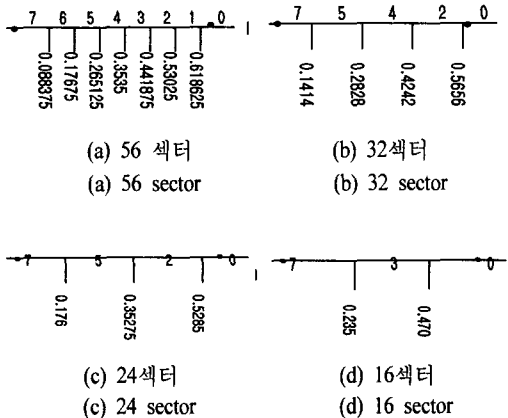


그림 10. 영역 (2)와 (6), (3)과 (7)의 각 sector에 대한 3 bit 연판정
 Fig. 10. 3-bit Soft Decision for Region (2), (6), (3), (7).

즉, (2), (3), (6), (7)영역은 I 값을 연판정하고 나머지 영역은 Q 값을 연판정한다.

연판정 영역과 연판정 I, Q 값의 결정방법은 그림 9와 같다. 8PSK로 변조된 신호는 in-phase 성분과

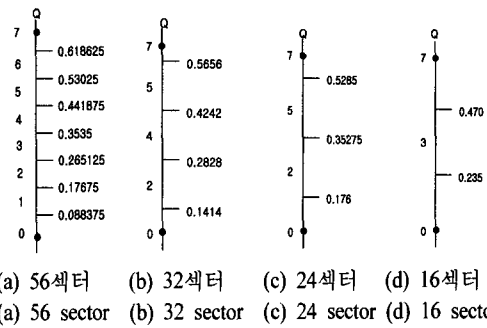


그림 11. 영역 (1)과 (5), (4)와 (8)의 각 sector에 대한 3 bit 연판정
 Fig. 11. 3-bit Soft Decision for Region (1), (5), (4), (8).

quadrature 성분으로 잡음채널을 통과하여 수신된 quadrature 성분을 0과 비교하여 ϕ_3 를 결정하고 in-phase 성분을 0과 비교하여 ϕ_2 를 설정하여 4사분면을 결정한다. 두 성분의 절대치의 크기를 비교해서 ϕ_1 를 설정하여 결정된 4사분면을 이등분하여 phase 정보를 설정하여 그림 9와 같이 어느 범위에 포함되는지에 따라 그림 8의 (1)~(8)영역으로 구분하고, 결정된 영역에 따라 I 또는 Q 값에 따라 연판정하여 Viterbi 복호기의 입력 비트로 정해진다.

그림 10과 그림 11은 sector별로 연판정 비트 할당을 나타낸다.

IV. 최적 설계를 위한 파라미터 설정

4-1 8PSK 위상 배치에 따른 성능

III장에서 언급한 바와 같이 8PSK 매핑 시 0도를 기준으로 하는 soft decision assignment로써 soft decision 길이가 0.707로 각 섹터에서 일정한 길이로 soft decision을 한다. 그림 12는 22.5도를 기준으로 하는 soft decision assignment로써 soft decision 길이가 0.765와 0.542로 각 섹터에서 일정한 soft decision을 가지고 있지 않다. 22.5도를 기준으로 하는 soft decision assignment의 평균 soft decision 길이가 짧아 성능의 열화를 야기시킨다. 8PSK 위상 배치에 따른 성능 분석은 그림 13과 같다. 시뮬레이션 결과로써 10-5 bit error rate에서 비교해 보면 0도를 기준으로 하는 soft decision assignment가 약 0.8 dB 성능이 좋을 수 있다.

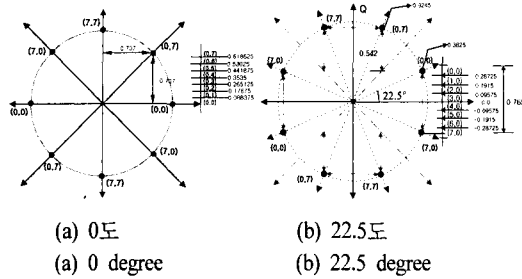


그림 12. 연판정 할당
Fig. 12. Soft decision assignment.

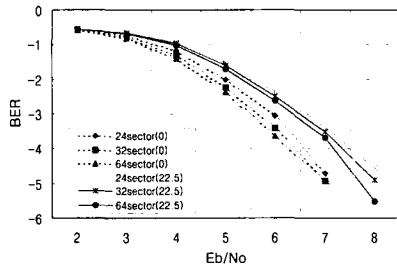


그림 13. 0도와 22.5도에서의 pragmatic TCM의 성능 분석
Fig. 13. BER Performance of Pragmatic TCM for Angle of 0 degree and 22.5 degree.

유클리드 거리는 성능에 영향을 주므로 22.5도에서 변조한 신호는 만큼의 성능차이가 난다. 위 식에서는 $P = -0.8$ 이므로 22.5도에서 변조한 신호는 0도에서 변조한 신호보다 약 0.8 dB 만큼 부호화 이득이 줄어듦을 그림 13에서 확인할 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} \left(10 \log_{10} \left(\frac{0.765}{0.707} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{0.542}{0.707} \right)^2 \right) \approx -0.8$$

4-2 Sector 수에 따른 성능

그림 14에서 H/W 구현을 위한 최적의 sector 수를 알아보기 위해 sector 수에 따른 성능 분석을 하였다. 10-5 bit error rate에서 sector 수에 따른 성능을 비교해 볼 때, 24 sector가 최적임을 알 수 있다.

4-3 수신 신호의 Integer bit 수에 따른 성능

4-2절에서 24sector가 H/W 구현을 위한 최적의 수임을 알 수 있다. 그림 15는 수신된 8PSK float신호를 24sector Pragmatic TCM에서의 Integer bit 수에 따른 성능을 보여주고 있다. 5 bit는 그림 15에서와 같이

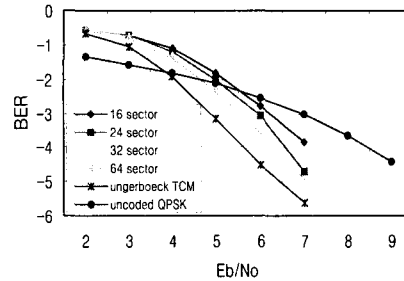


그림 14. Sector 수에 따른 Pragmatic TCM 성능
Fig. 14. BER Performance of Pragmatic TCM for Number of Sector.

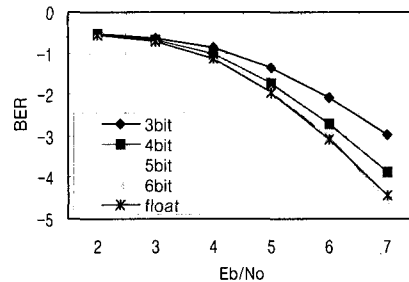
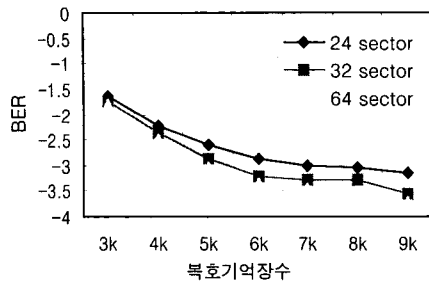


그림 15. 24-sector Pragmatic TCM에서의 Integer bit 수에 따른 성능분석
Fig. 15. BER Performance of 24-Sector Pragmatic TCM for Number of Integer Bit.

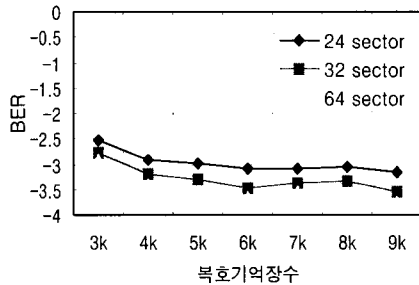
최적의 수임을 알 수 있다. 즉 3, 4, 5, 6 bit로 각각을 normalize 했을 때 float 신호로 24 sector Pragmatic TCM과 비교하여 최적의 비트수를 채택한 것이다.

4-4 최소 PM 설정 유무에 따른 성능

그림 16은 복호기억장수에 따른 최소 PM(Path metric)을 찾는 경우와 최소 PM을 찾지 않는 경우에 대한 성능 분석이다. 최소 PM을 찾지 않는 경우에 대한 성능 분석을 하는 이유는 최소 PM을 찾는 경우는 복호 속도에 영향을 주기 때문에 고속으로 동작하려면 최소 PM을 찾지 않고 복호를 행하여야 한다. 그림 16(a)에서 보면 24, 32, 56 섹터인 경우 최소 PM을 찾지 않는 경우 6 k 이상일 때 성능이 거의 일정하며, 그림 16(b)에서 최소 PM을 찾는 경우 4 k 이상일 때는 성능이 거의 일정함을 알 수 있다. 최소 PM을 찾지 않는 경우에는 약 2 k 정도 지연이 생기나, 성능을 6 k 정도로 복호 기억장을 할당하면 최소 PM을 찾는 경우와 거의 일치함을 알 수 있다.



(a) 최소 PM을 찾지 않은 경우
(a) Not searching for minimum PM



(b) 최소 PM을 찾는 경우
(b) Searching for minimum PM

그림 16. 복호기억장수에 따른 성능분석
Fig. 16. BER Performance for Decoding Depth.

표 3. Pragmatic TCM의 최적 설계 파라미터
Table 3. Optimal Design Parameters of Pragmatic TCM.

파라미터		설정 값
수신신호의 bit 수 할당		5 bits
8PSK 시작각도		0도
Sector 수		24 sector
Decoding depth	최소 PM 구할 때	4 k
	최소 PM 구하지 않을 때	6 k ~ 7 k

이상의 분석한 바와 같이 Pragmatic TCM의 최적 설계 파라미터는 표 3과 같다.

V. VHDL 시뮬레이션 결과

그림 17에서 그림 19까지는 3절에서 언급한 각 부호화율에 따른 복호 방법을 4절의 표 3의 최적 설계 파라미터를 적용하여 hardware 구현을 위한 부호화율 2/3, 5/6, 8/9를 VHDL 시뮬레이션 한 결과다. VHDL 시뮬레이션은 Altera사의 maxplus II를 이용하여 컴파일 하였다. VHDL 코더 구성시 검증용 테스트

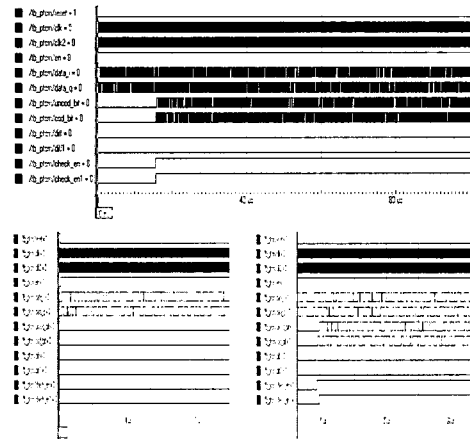


그림 17. R=2/3인 부/복호기 VHDL 시뮬레이션 결과
Fig. 17. VHDL Simulation Result for R=2.

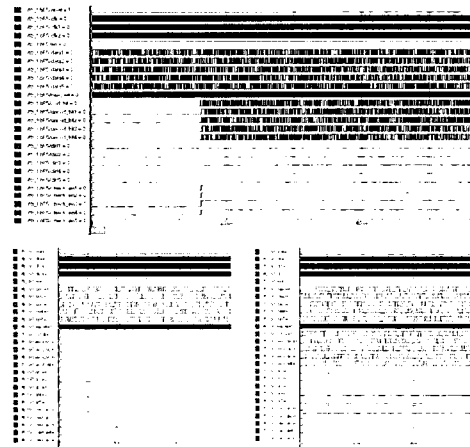


그림 18. R=5/6인 부/복호기 VHDL 시뮬레이션 결과
Fig. 18. VHDL Simulation Result for R=5/6.

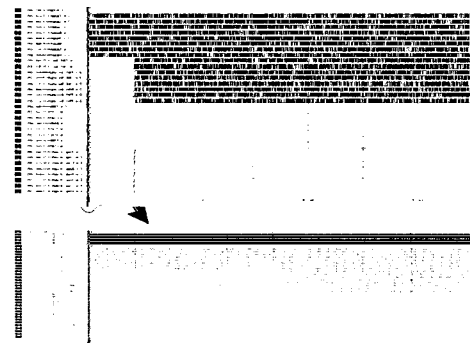


그림 19. R=8/9인 부/복호기 VHDL 시뮬레이션 결과
Fig. 19. VHDL Simulation Result for R=8.

트 벤치를 사용하였으며, diffxx ports는 송신 bit와 복

호 bit를 비교하는 ports들로서 '0'이 나오면 복호가 제대로 이루어진 경우이고 '1'이 나오면 송신 비트와 복호비트가 오류가 있음을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 모두 '0'이므로 정확히 복호가 됨을 알 수 있다.

VI. 적응형 복호기 인터페이스

PTCM FEC의 외부핀은 그림 20과 같이 크게 다섯 부분으로 나눌 수 있다. 복조기에서 출력되는 channel data 부분과 부호화율을 선택하는 rate_sel, 변조방식을 나타내는 mod_sel, 세 개의 클럭핀, 그리고 복호데이터를 control하는 output control핀 등으로 구성되어 있다. 블록별로는 비터비 복호기 모듈, TC-8PSK를 비터비 복호기로 복호하기 위한 PTCM 블록 두가지로 나눌 수 있으며, PTCM 블록은 phase sector modul(PSM), soft decision modul(SDM), reencoder(RC), outboard decision modul(ODM), output control modul(OCM) 등 여섯 부분으로 나눌 수 있다. 변조방식은 BPSK, QPSK, 8PSK 등 크게 3개로 나눌 수 있으므로 mod_sel은 2비트로 할당하고 8PSK인 경우에는 Phase sector 모듈로 입력하게 하고 BPSK인 경우에는 직접 비터비 복호기 모듈로 입력하게 한다. BPSK/QPSK인 경우에는 복조기 출력이 I 채널, Q 채널 각각 3비트이며, 8PSK 모드인 경우에는 복조기 출력이 5비트이다. 이는 표 4와 같다.

그림 20은 앞 절에서 설계한 파라미터를 근거로 채널 환경에 따라 변조방식 및 부호화율을 가변시킬 수 있는 적응형 복호기 인터페이스 구조를 나타낸다. 표 4의 Mode_sel의 비트 할당에 따라 B/QPSK일 경우에는 기존의 비터비 복호기를 그대로 이용하며,

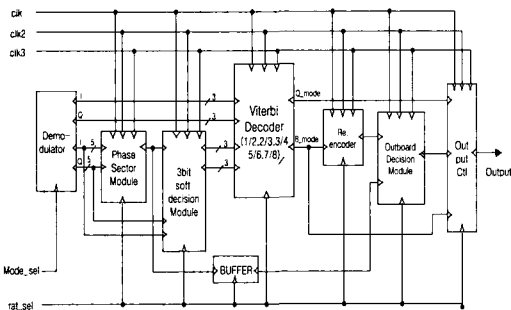


그림 20. 적응형 복호기 인터페이스
Fig. 20. Adaptive Decoder Interfa.

표 4. Mode_sel에 따른 변조방식 및 양자화 비트수 할당

Table 4. Assignment of Modulation Scheme and Quantization Bits for Mode_sel.

Mode_sel	Modulation	Quabtization
00	BPSK	3 bit for I, Q
01	QPSK	3 bit for I, Q
10	TC-8PSK	5 bit for I, Q
11	Reserved	-

채널 환경이 좋을 시에는 8PSK를 적용하여 기존의 비터비 복호기를 그대로 이용하는 구조를 그림 20에 나타내었다.

VII. 결 론

본 논문에서는 DVB 및 ISDB 규격을 토대로 공통적으로 채택하고 있는 TC-8PSK(R=2/3, 5/6, 8/9)를 중심으로 성능 분석 및 구현을 위한 최적 파라미터 도출 그리고 이를 기반으로 VHDL 모델링 하였다. 시뮬레이션을 통해 복호기의 유효성을 검증할 수 있었으며, 초고속 위성 방송 시스템에서 강우 감쇠에 대처하기 위한 적응형 트렐리스 부호화 방식에 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] "Digital Video Broadcasting(DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Satellite News Gathering(DSNG) and Other Contribution Applications by Satellite", *ETSI EN 301 210:European Standard*.
- [2] "Satellite Broadcasting System of Service Digital Broadcasting", *ITU-RBO, 1227-2*.
- [3] N. Kawai et al., "Performance of Multimedia Broadcasting Through ISDB Transmission System", *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol. 42, no. 3, pp. 151-158, Sep. 1996.
- [4] Carden Frank, "A Quantized Euclidean soft Decision Maximum Likelihood Sequence Decoder: A Concept for Spectrally Efficient TM Systems", *Proceedings of the International Satellite Telemetry Confer-*

ence, vol. XXIV, pp. 375-384, Oct. 1988.
[5] Shigeo Nakajima, "Adaptive Coding Rate Trellis-

coded 8PSK System", *IEICE TRANS.FUNDAMENTALS*, vol. E80-A, no. 7, Jul. 1997.

정 지원



1989년 2월: 성균관대학교 전자공
학과 (공학사)

1991년 2월: 성균관대학교 전자공
학과 (공학석사)

1995년 2월: 성균관대학교 전자공
학과 (공학박사)

1991년 1월~1992년 2월: LG 정보

통신연구소 연구원

1995년 9월~1996년 8월: 한국통신 위성통신연구실 선임
연구원

1997년 3월~1998년 12월: 한국전자통신연구원 초빙 연구원

1996년 9월~현재: 한국해양대학교 전자공학과 부교수

2001년 8월~2002년 8월: 캐나다 NSERC Fellowship(Com-
munication Research Center 근무)

[주 관심분야] 위성통신, 이동통신, 변.복조기술, 채널코딩,
FPGA 기술 등