

차세대 지상파 DTV 전송시스템 개발

김성훈*, 이재영*, 이수인*, 안치득*, 김기두**

*한국전자통신연구원(ETRI) 전파방송연구단 방송시스템 연구그룹

** 국민대학교 전기전자공학부

Contact: Sung-Hoon Kim (steve-kim@etri.re.kr)

Enhanced-xVSB System Development for Next Generation Terrestrial DTV RF Transmission

Sung-Hoon Kim*, Jae-Youn Lee*, Soo-In Lee*, Chieteuk Ahn*
Radio & Broadcasting Research Division, Broadcasting System Dept., ETRI

Ki-Doo Kim**

Department of Electronic & Electrical Engineering, Kookmin University

Abstract

In this paper, we describe a new 1/4 rate robust modulation techniques for Enhanced-xVSB system which is fully backward compatible with ATSC 8-VSB standard. 1/4 rate mode Enhanced-xVSB system provides broadcasters with a wide choice of trade-offs of data rate vs amount of robustness of enhanced data for pedestrian/mobile services. Lab test results of proposed Enhanced-xVSB 1/4 rate mode robust stream are a significantly improved multipath as well as AWGN reception performance for Enhanced-xVSB receiver. We suggest an Enhanced-xVSB terrestrial broadcasting system for ATSC HDTV and pedestrian/portable TV simultaneous broadcasting service providing.

I. 서론

국내 지상파 디지털 방송 전송방식 표준으로 선정된 ATSC(Advanced Television System Committee) 8-VSB 방식은 2000년 ABERT/SET 브라질 테스트에서 보고된 바와 같이 빌딩 등의 반사파에 기인한 도시형 난청지역, 낮은 전계강도, 높은 도플러 천이효과 및 dynamic echo가 존재하는 실내/휴대/이동수신환경에서 수신기의 신호수신률이 현저히 떨어지는 특성을 나타내고 있는 것으로 지적되었다. 이에 따라 미국의 지상파 DTV 표준화 기구인 ATSC 산하 T3/S9에서 고정/휴대/이동수신 환경 하에서의 수신률 개선 및 성능향상을 목표로 개선된 지상파 전송방식 개발 및 표준화를 진행한 결과 2004년 7월 Zenith/ATI사가 제안한 E-VSB(Enhanced-VSB)방식을 개선된 전송방식의 표준으로 선정하였다. 그러나 Zenith/ATI사가 제안한 E-VSB 방식 역시 8-VSB와 같이 8-level 신호성상을 그대로 유지하고 있으므로 실내수신 성능향상이외에 dynamic echo 환경 하에서의 수신성능에 기인하여 휴대/이동수신이 사실상 불가능한 것으로 평가되고 있으며, 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 DTV 수신기의 수신성능 개선 연구가 여전히 필요한 상황이다. 2006년부터 ATSC 산하 RF Transmission Specialist Group에서는 삼성전자의 A-VSB(Advanced-VSB)와 ETRI/Philips의 E-xVSB(Enhanced-xVSB)가 ATSC E-VSB의 성능개선안으로 논의되고 있는 상황이며, 본 논문에서는 이러한 8-VSB/E-VSB의 성능향상을 위해 8-level의 신호성상을 4-level로 줄여 dynamic echo 제거성능을

비약적으로 향상시키며, 현재의 8-VSB 송수신 시스템과 하위호환성을 그대로 유지할 수 있는 Enhanced-xVSB 시스템을 제안하며, 특히 가장 robust한 성능을 보이는 1/4rate 모드가 ATSC 8-VSB/E-VSB에 비해 획기적으로 수신성능을 향상시킬 수 있는 실험결과에 대하여 중점적으로 기술한다.

본 논문에서는 2장에서 현재 ATSC RF Transmission 부문에 ETRI/Philips가 제안한 E-xVSB의 Enhanced TCM 구조 및 특징을 비교해보고 3장에서는 computer simulation을 통한 ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB 방식의 성능비교에 대해 기술하고, 4장에서는 테스트베드를 이용하여 자체 Lab 테스트를 통한 성능비교 결과를 보였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

II. ETRI/Philips Enhanced-xVSB 방식의 구조 및 특징

2.1 Trellis Coding

ETRI/Philips E-xVSB의 Enhanced-TCM 부는 크게 Enhanced coding 부와 기존의 8-VSB TCM 부로 나눌 수 있다. 기존의 8-VSB 방식의 normal stream은 enhanced-TCM 부를 bypass하여 8-VSB TCM 부호화 처리되며, robust stream은 enhanced modulation 변조 및 모드 옵션에 E-8VSB, E-4VSB, P-2VSB 변조 및 1/2 rate, 1/4 rate 모드로 구분되어 부호화된다. 그림 1은 Enhanced-TCM 전체 블록도를 보인 것이다.

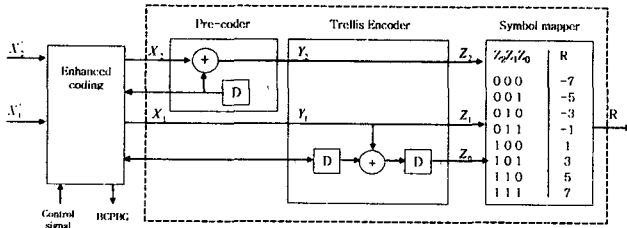


그림 1. ETRI/Philips E-xVSB Enhanced-TCM 구조

2.2 Enhanced TCM Coding

E-xVSB 시스템의 송신부 입력데이터는 multiplexer 를 이용하여 8-VSB normal stream 과 robust stream 으로 다중처리 하며, 다중 처리된 패킷들은 기존의 8-VSB 와 같은 randomizer 와 RS encoder 를 거친 후 interleaver packet formatter 의 입력으로 들어간다. interleaver packet formatter 는 normal stream 인 경우 특별한 처리 없이 통과되며, robust stream 의 경우 입력데이터는 B=63, M=3, N=207 의 robust interleaver 를 통과하여 코딩비율에 따라 새로운 패킷의 구조를 생성한다. 이와 같이 처리된 normal/robust stream 은 모두 기존의 8-VSB 와 같은 interleaver 와 TCM encoder 를 통과한다. TCM encoding 이후 robust stream 의 symbol 은 변조, 모드의 옵션처리에 따라 {-7, -5, 5, 7}로 4-level mapping 되는 Pseudo-2VSB, {-7, -1, 3, 5} 혹은 {-5, -3, 1, 7}로 mapping 되는 Enhanced-4VSB, ATSC E-VSB 와 같이 8-level 로 mapping 되는 Enhanced-8VSB 중 한가지 변조방식 및 enhanced code rate 에 따라 1/2, 1/4 rate 모드로 선택할 수 있으며, 이들 모드를 모두 사용하는 Hybrid 모드도 선택 가능하다. 그림 2 는 E-xVSB 의 Pseudo-2VSB 1/4rate 모드에 사용하는 enhanced TCM encoder 를 보인 것이다. ATSC E-VSB 와 비교할 때, E-xVSB 의 가장 두드러진 차이점은 E-xVSB TCM coding gain 을 결정짓는 파라미터중 하나인 minimum Euclidean distance 가 ATSC E-VSB 에 비해 길어 FEC 성능이 우수하고 4-level VSB 를 지원하며, 이로 인해 등화기의 성능을 높임으로써 dynamic echo 환경하에서 ATSC E-VSB 와 비교하여 수신성능이 우수하다.

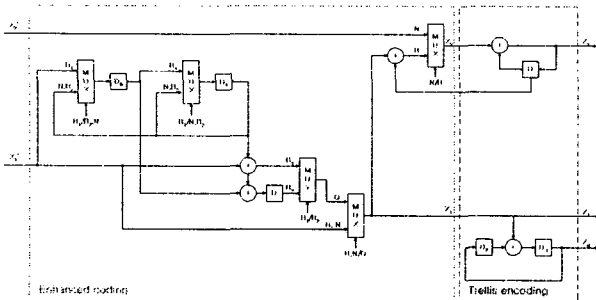


그림 2. E-xVSB 1/4 rate Pseudo-2VSB TCM Encoder 구조

III. ATSC E-VSB 와 ETRI/Philips E-xVSB 시스템 성능비교

ATSC E-VSB 및 ETRI/Philips E-xVSB 모두 robust stream 에 대한 대부분의 수신이득은 enhanced TCM 블록에서 획득한다. 전송신호의 에러확률은 신호들간의 minimum Euclidean distance 에 의해 결정되며, 이를 minimum free distance d_{free} 라 한다. 따라서, 부호화된 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 Ungerboeck 의 design rule 에 따라 d_{free} 혹은 d_{free}^2 을 최대화하도록 격자도를 설계하는 것 이라고 할 수 있다. 표 1 은 ATSC

E-VSB 와 ETRI/Philips E-xVSB 에서 부호화율이 각각 1/2 rate, 1/4 rate 모드에서의 d_{free}^2 (d_{free}) 및 시물레이션을 통해 얻은 coding gain 결과를 보인 것이다. 표 1 은 minimum Euclidean distance 비교를 통해, AWGN 환경에서 E-xVSB 가 ATSC E-VSB 에 비해 1/2 rate 모드에서 3dB, 1/4 rate 모드에서 4.83dB coding gain 을 더 획득할 수 있음을 보여준다.

표 1. ATSC E-VSB 와 ETRI/Philips E-xVSB 의 자유거리 및 coding gain 비교

자유거리 및 coding gain 비교	d_{free}^2 (d_{free})	시물레이션에 의한 coding gain
1/2 rate E-xVSB Pseudo-2VSB	292(17.08)	9 dB
1/4 rate E-xVSB Pseudo-2VSB	692(26.3)	12.83 dB
1/2 rate ATSC E-VSB	164(12.8)	6 dB
1/4 rate ATSC E-VSB	168(12.96)	8 dB

표 2 는 computer simulation 을 통해 ATSC E-VSB 와 E-xVSB 의 BER 이 3.6×10^{-6} 이내가 확보될 수 있는 TOV[Threshold Of Visibility]를 만족하는 CNR 을 비교한 것이며, 이때 E-xVSB 변조모드는 1/4 rate, Pseudo-2VSB 을 사용하였으며, normal stream 대비 robust stream 의 비율을 15%인 약 3Mbps(실제 데이터 전송량은 약 750kbps) 이내로 하였다. 이때의 E-8VSB 모드는 ATSC E-8VSB 성능과 동일하다.

표 2. Computer Simulation 을 통한 TOV 를 만족하는 CNR 비교

Measurement: Input CNR @ TOV					
Channel : AWGN					
Coding Rate	Mode	8-VSB	P-2VSB	E-4VSB	E-8VSB
1/2 rate	Normal	14.9 dB	15.2dB	14.9dB	14.9dB
	Robust		7.8dB	12.1dB	8.9dB
1/4 rate	Normal	14.9 dB	16.3dB	15.9dB	16dB
	Robust		2.4dB	6.0dB	6.5dB

표 2 에서 보인바 와 같이, 컴퓨터 시물레이션 결과 ATSC E-VSB 보다, ETRI/Philips E-xVSB 방식이 1/4 rate 모드에서 약 4.1dB 가량 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다[1].

IV. Laboratory Test 결과

E-xVSB 시스템 테스트베드의 구성은 크게 송수단으로 구분할 수 있으며, 송수단은 enhanced stream 을 생성하기 위한 S/W encoder, 생성된 스트림을 저장하고 VSB 송신기에 스트림을 공급하는 enhanced stream symbol generator 및 noise generator, fading simulator 기능이 지원되는 VSB 변조기로 구성되어 있으며, 수신단은 VSB tuner, E-xVSB demodulator ASIC 및 normal/robust stream 디코딩을 위한 MPEG-2 decoder, display monitor 로 구성되어 있다. 그림 3 은 E-xVSB 1/4 rate 모드를 테스트 하기 위한 E-xVSB 의 테스트베드를 보인 것이다. 그림 4 는 0.18um, 2.5V CMOS 공정을 사용하며, internal clock 50MHz 를 사용하는 E-xVSB 2nd ASIC 을 보인 것이다. 내부 등화기 성능은 LG 4 세대 수준이며, -10dB single echo 기준으로 5~41sec 의 pre/post echo equalization 범위를 갖는다. 표 3 은 E-xVSB 테스트베드를 이용하여 ATSC E-VSB 와 ETRI/Philips 의 E-xVSB AWGN 수신채널에서의 TOV 를

만족하는 CNR 값을 측정하는 것이다.

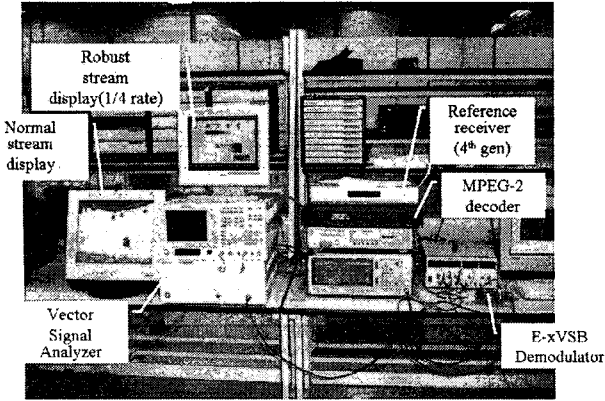


그림 3. Enhanced-xVSB 테스트베드

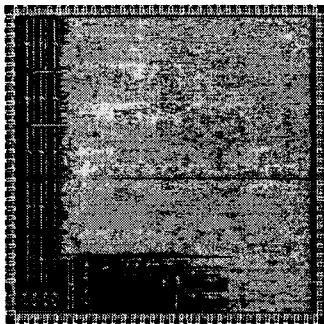


그림 4. Enhanced-xVSB 2nd Generation ASIC

표 3. Susceptibility to AWGN(1/4 rate mode)

Measurement: Input CNR @ TOV(RF level: -58dBm) Channel : AWGN					
Coding Rate	Mode	8-VSB	P-2VSB	E-4VSB	E-8VSB
1/4 rate	Normal	16 dB	16.3dB	15.9dB	16dB
	Robust		2.8dB	7.0dB	7.1dB

* E-8VSB is an equivalent performance with ATSC E-VSB

표 4. P-2VSB vs ATSC E-8VSB Comparison Testing of Equalizer Range Performance (1/4 rate mode)

Echo Power (dB)	Robust Data Rate (Mbps)	TOV Type	Echo Delay (μs)	
			Min	Max
-10	8-VSB	Normal	-5.1	+41.6
0	P-2 (745kbps)	Robust		41
0	E-8 (2.24Mbps)	Robust		41
-1	P-2 (745kbps)	Robust	-33	41
-1	E-8(2.24Mbps)	Robust	-4	41
-2	P-2(745kbps)	Robust	-100	110
-2	E-8(2.24Mbps)	Robust	-4	41
-3	P-2(745kbps)	Robust	-1638	1638
-3	E-8(2.24Mbps)	Robust	-5	41

표 3 에서 보인 바와 같이 1/4 rate 모드에서 E-xVSB 의 P-2VSB 성능이 ATSC E-VSB 에 비해 약 4.3dB 의 성능이 우수한 것을 알 수 있다. 표 4 는 single echo 를 이용하여 robust mode 에서의 equalization range 성능평가 결과를 보인 것이다. 표 4 에서 보인 바와 같이 -3dB single echo 에서 E-xVSB 의 P-2VSB 1/4 rate 모드에서 -1638usec~1638 usec 의 pre/post echo 를 제거할 수 있는 획기적인 성능개선의 실험결과를 얻었으며, ATSC E-VSB 는 -5usec~41usec pre/post echo 를 제거하는 기존의 등화기 성능향상에 별 도움을 주지 못하는 실험결과를 얻었다. 그림 5 는 Noise free 상태에서의 약 40dB CNR 이 확보된 E-xVSB 수신신호 스펙트럼을 보인 것이다. 그림 6 은 E-xVSB P-2VSB 1/4

rate 모드에서 CNR@TOV 의 임계치인 약 3dB 수신신호 스펙트럼을 보인 것이다. 그림 6 에서 보인 바와 같이 CNR@TOV 가 약 14.9dB 인 8-VSB 에 비해 약 12dB 의 수신성능개선을 얻었으며, ATSC E-VSB 에 비해 약 4.3dB 의 수신성능개선을 얻었다.

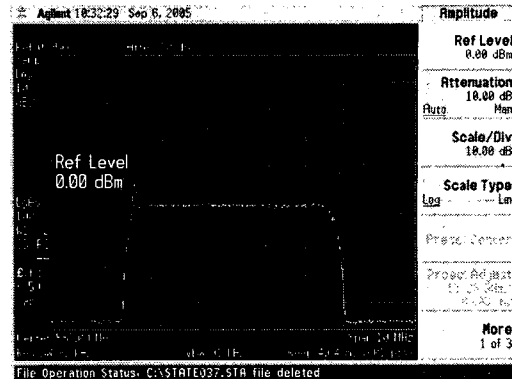


그림 5. Noise free 상태의 E-xVSB 수신신호 스펙트럼 [Y axis: 10dB scale]

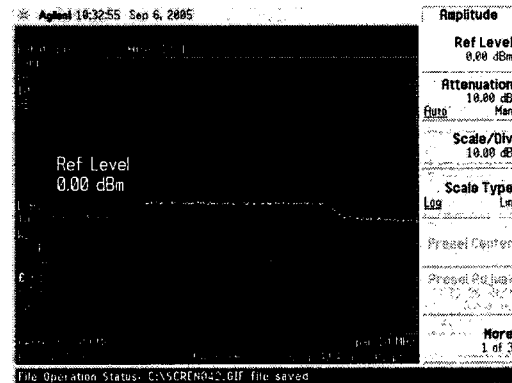


그림 6. AWGN 환경에서 E-xVSB P-2VSB 1/4 rate 모드 수신신호 스펙트럼 [Y axis: 10dB scale]

표 5, 6, 7 은 각각 modified Brazil C, D, E ensemble echo 에서의 TOV 를 만족하는 CNR 을 보인 것이다. 표 5, 6, 7 에서 보인바 와 같이 E-xVSB 의 1/4 rate 모드가 modified Brazil C/D/E ensemble echo 채널환경에서 ATSC E-VSB 에 비해 각각 6.8, 9.7, 11.9dB 라는 성능개선을 얻었으며, 이는 AWGN 에서보다 열악한 다중경로 채널에서 보다 많은 이득을 얻는 것을 실험을 통해 확인 하였다. 이 결과는 ATSC E-VSB 의 8 level VSB 의 신호보다 E-xVSB 의 P-2VSB 와 같은 4-level VSB 가 다중경로 왜곡환경에서 월등히 좋은 수신성능을 얻을 수 있다는 실험결과임을 의미한다. 그림 7, 8, 9 는 각각 modified Brazil C/D/E 채널에서 E-xVSB P-2VSB 1/4rate 모드에서 TOV 를 만족하는 CNR 임계치에서의 수신신호 스펙트럼을 보인 것이다.

표 5. Reception performance comparison under modified Brazil C ensemble echo channel

Ensemble Type	Robust Data Rate (Mbps)	Stream Type	CNR @TOV (dB)	Echo Power (dB)
Modified Brazil C	16Mbps (8-VSB)	Normal	Fail	Fail
Modified Brazil C	0.75 (P-2VSB)	Robust	0.6	0
Modified Brazil C	2.23 (E-8VSB)	Robust	7.4	0

표 6. Reception performance comparison under modified Brazil D ensemble echo channel

Ensemble Type	Robust Data Rate (Mbps)	Stream Type	CNR @TOV (dB)	Echo Power (dB)
Modified Brazil D	16Mbps (8-VSB)	Normal	Fail	Fail
Modified Brazil D	0.75 (P-2VSB)	Robust	0.7	0
Modified Brazil D	2.23 (E-8VSB)	Robust	10.4	0

표 7. Reception performance comparison under modified Brazil D ensemble echo channel

Ensemble Type	Robust Data Rate (Mbps)	Stream Type	CNR @TOV (dB)	Echo Power (dB)
Modified Brazil E	16Mbps (8-VSB)	Normal	Fail	Fail
Modified Brazil E	0.75 (P-2VSB)	Robust	8.5	0
Modified Brazil E	2.23 (E-8VSB)	Robust	20.4	0

표 8. Susceptibility to Single Dynamic Echo

Stream Type	Percentage of Robust Stream Insertion(%)	Doppler frequency before failure(Hz)
8-VSB	0%	50 Hz
Pseudo-2VSB (1/4 rate robust mode)	15%	1600 Hz

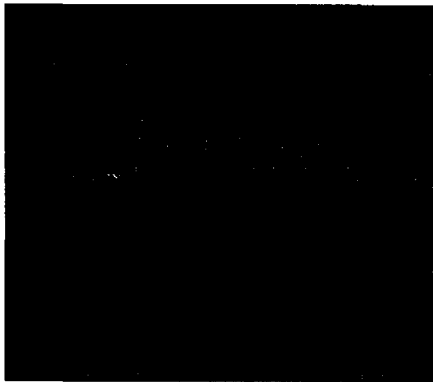


그림 7. Modified Brazil C 채널환경에서 E-xVSB P-2VSB 1/4 rate 모드 수신신호 스펙트럼 [Y axis: 10dB scale]

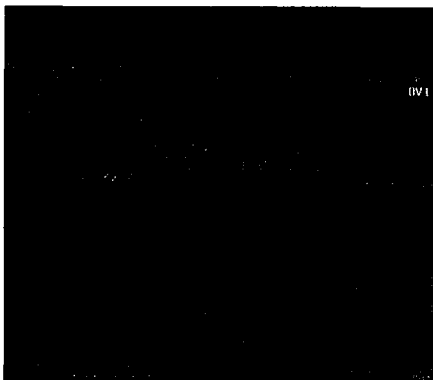


그림 8. Modified Brazil D 채널환경에서 E-xVSB P-2VSB 1/4 rate 모드 수신신호 스펙트럼 [Y axis: 10dB scale]

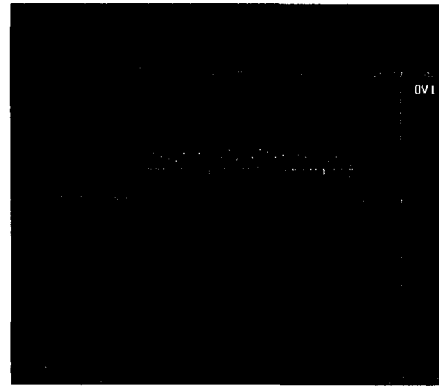


그림 9. Modified Brazil E 채널환경에서 E-xVSB P-2VSB 1/4 rate 모드 수신신호 스펙트럼 [Y axis: 10dB scale]

표 8 은 100% 8-VSB 와 100% Pseudo-2VSB 모드에서 -9dB, 10usec dynamic single echo 환경에서의 실험을 통한 성능비교를 보인 것이다. 표 8 에서 보인바 와 같이 같은 채널 및 수신조건 하에서 8-VSB 는 도플러 주파수 50Hz 까지 수신이 가능한 반면 Pseudo-2VSB 는 1600Hz 까지 수신이 가능하며, Pseudo-2VSB 를 사용할 경우 수신기의 dynamic echo 제거성능이 획기적으로 개선됨을 알 수 있다.

V. 결론

오늘날 ATSC 수신기들은 fading 환경하에서의 많은 수신성능의 개선을 이루었으나, 등화 알고리즘의 연산복잡도, 하드웨어 복잡도를 비약적으로 늘리는 결과를 초래하였으며, 아직도 VSB 시스템에서는 static echo 제거 이외에 dynamic echo 의 제거는 풀지 못하는 난제로 남아 있다. 따라서 본 논문에서는 ATSC 8-VSB 송수신 방식과 하위호환성을 유지하며, 수신 전계강도가 낮고 dynamic echo 가 실외고정수신에 비해 상대적으로 빈번하게 발생하는 실내, 휴대 및 이동수신 환경에서 수신성능을 획기적으로 개선시킨 Enhanced-xVSB 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안한 시스템은 ATSC E-VSB 에 비해 AWGN 환경 및 다중경로왜곡 채널환경에서 우수한 성능을 실험결과를 통해 확인하였으며, ATSC E-VSB 에 비해 등화기의 수신성능을 비약적으로 개선시킴을 증명하였다.

참고문헌

- [1] Sung-Hoon Kim, Kum-Ran Ji, "Variety Enhanced MODEM Scheme for Improved ATSC Standard," IEEE 54th Annual Broadcast Symposium, Oct. 2004

Table A - Modified Brazil Ensembles C, D, E

Ensemble	Channel Simulator Parameter	Path 1	Path 2	Path 3	Path 4	Path 5	Path 6
Modified Brazil C	Delay (μs)	0	0.1	0.4	1.5	2.3	2.8
	Attenuation (dB)	2.8	0	3.8	0	2.5	1.3
	Phase (degrees)	0	0	0	0	0	0
Modified Brazil D	Delay (μs)	0.15	0.65	2.2	3.05	5.85	5.95
	Attenuation (dB)	0	3.8	2.6	1.3	0	2.8
	Phase (degrees)	0	0	0	0	0	0
Modified Brazil E	Delay (μs)	0	5	10	OFF	OFF	OFF
	Attenuation (dB)	0	0	0			
	Phase (degrees)	0	0	0			