

최신 ATSC DTV 수신기의 다중 경로 페이팅 환경에서의 수신 성능 평가

*이동훈 **박성우 ***김정진 ****정진희 *****장용덕 *****정해주

삼성전자 디지털미디어연구소

*donghoon72.lee@samsung.com

Performance of State-of-the Art ATSC DTV Receivers for Multipath Fading Environments

*Donghoon Lee **Sungwoo Park ***Jungjin Kim ****Jinhee Jeong

*****Yongdeok Chang *****Haejoo Jeong

Digital Media R&D Center Samsung Electronics Co., LTD

요약

국내와 북미 지역에서 ATSC DTV 방송 서비스가 시작된 이래 수신 성능을 개선하기 위한 지속적인 노력이 경주되어 왔다 [1]-[6]. 본 논문에서는 2005년 8월 캐나다 CRC (Communications Research Center) 센터의 테스트 결과를 토대로 최신 ATSC 수신기의 성능을 고찰해 보고자 한다 [4]. CRC 테스트는 수신 감도, 다중 경로 환경에서의 수신 성능, 간섭 신호에 대한 강건성 등 다양한 항목에 걸쳐 실시되었으며, A/74 권고안에 기술된 난시청 지역의 50개 신호 샘플에 대한 성능 평가를 포함하고 있다. 테스트에 사용된 ATSC 수신기는 당사에서 개발한 최신 칩 (GEMINI)을 탑재한 것으로 파일럿 (pilot) 신호가 손상된 경우에도 안정적인 동기 획득이 가능하며 현존 수신기 중 가장 넓고 강력한 반사파 (ghost) 제거 성능을 보유하고 있다. CRC 테스트 결과와 국내외 필드테스트 결과는 최신 ATSC 수신기가 A/74 권고안뿐만 아니라 각종 성능 지표에서 이전 수신기에 비해 대폭 개선되었음을 확인시켜 준다.

1. 서론

1995년 미국 FCC가 8-VSB 변조 방식을 지상파 DTV 방송 규격으로 승인한 이래 [1-3] 매년 새로운 수신기가 끊임없이 개발되고 있다 [4-5]. 특히 FCC가 2007년까지 DTV를 비롯한 관련 주변 기기에 ATSC 수신기 장착을 의무화함으로써 최근 관심이 수신기 성능에 집중되고 있다.

이에 본 논문은 2005년 8월에 발표된 캐나다 CRC (Communications Research Center) 센터의 테스트 결과를 토대로 최신 ATSC 수신기의 성능 수준을 가능해 보고자 한다 [4]. 본 논문에서 다루고 있는 최신 ATSC 수신기는 당사에서 개발한 복조 칩 (GEMINI)을 탑재한 것으로서 A/74 권고안을 만족할 뿐만 아니라 파일럿이 손상된 환경에서도 안정된 동기 획득이 가능하며 이전 수신기에 비해 넓고 강력한 반사파 제거 성능을 보유하고 있다. 그 결과 실내 안테나를 이용한 방송 시청과 OCR (On-Channel Repeater) 및 DTX (Distributed Transmitter) 적용을 용이하게 하여 지상파 DTV 방송 범위를 효과적으로 넓혀 줄 수 있다.

II. 최신 ATSC 수신기의 구조 및 특징

그림 1은 당사에서 개발한 복조기

(demodulator)의 구조를 나타낸 것으로 자동 이득 제어 회로 (AGC), 필터 회로, 동기 회로 (synchronizer), 채널 등화기 (equalizer), FEC 회로로 구성되어 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 digital PLL을 적용함으로써 심벌 클럭 (10.76MHz) 조정을 위한 별도 외부 PLL이 필요 없도록 하였다. 최신 복조기의 입력단에는 아날로그 입력신호를 디지털 신호로 변환하기 위하여 25MHz 속도로 동작하는 10-bit ADC를 사용한다.

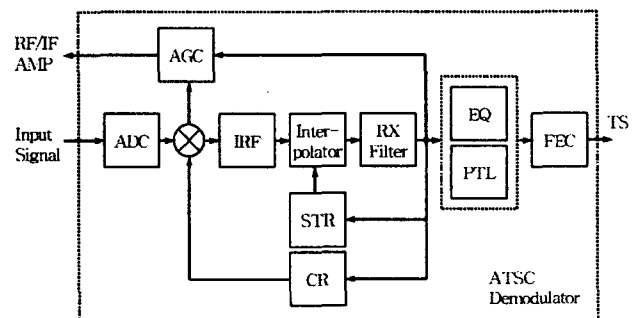


그림 1. 최신 복조기 구조 (GEMINI)

A. 자동 이득 제어 (AGC)

다양한 환경에서 지상파 DTV 방송을 수신하기 위해서는 튜너 (tuner)의 다이내믹 레인지 (dynamic range)가 75dB 이상 되어야 한다 [3]. 이를 위해 최신 ATSC 수신기는 RF AMP 이득과 IF AMP 이득을 AGC 회로를 통해 독립적으로 조절할 수 있도록 구성하였다. 또한 채널 상태에 따라 ADC 출력신호와 RX 필터

¹ CRC 테스트 이후 개선된 내용을 포함하고 있으며 CRC 테스트 결과인 경우, 'CRC'라고 명기하였다.

출력신호를 이용하여 아날로그 입력신호 레벨을 최적으로 유지할 수 있게 하였다. 표 1 은 CRC 센터에서 최신 ATSC 수신기의 다이내믹 레인지를 측정한 결과이다.

Minimum Level (dBm)		Maximum Level (dBm)	
Measured	A/74	Measured	A/74
-84.7	-83.0	>1.5	-8.0

표 1. 최신 ATSC 수신기의 RF 다이내믹 레인지 (CRC)

B. 동기 (Synchronization)

열악한 채널 환경에서 전송 데이터를 성공적으로 복조하기 위해서는 채널 등화에 앞서 송수신기간 동기 (synchronization)를 안정적으로 획득해야 한다. 특히 0dB 의 강한 반사파 성분이 존재하는 환경에서는 반송파 복원 (carrier recovery)을 위한 파일럿 (pilot) 신호나 심벌 타이밍 복원 (symbol timing recovery)을 위한 세그먼트 동기 (segment sync) 신호가 손상되는 경우가 빈번하므로 이에 대비한 설계가 필요하다 [1].

특히 반송파 복원의 경우, 기존 수신기는 파일럿을 이용하는 FPLL (Frequency-Phase Locked Loop) 구조를 널리 사용해 왔으나 여기에는 두 가지 문제점이 있다 [2]. 하나는 파일럿이 손상되었을 경우 반송파 복원이 불가능하다는 점이고 다른 하나는 반송파 주파수 오프셋의 부호에 따라 복원 성능이 동일하지 않다는 점이다. 최근 개발한 ATSC 수신기는 이 점을 고려하여 파일럿이 완전히 손상되었을 경우에도 반송파 복원을 원활히 수행할 수 있도록 설계되었다.

Ensemble Type			CR pull-in range (kHz)	
Delay	Amp	Phase	GEMINI	A(社)
3 s	0 dB	180°	-160 160	-20 110

표 2. 파일럿이 손상된 경우 반송파 복원 범위

C. 채널 등화 (Equalization)

지상파 DTV 방송의 수신 범위는 튜너의 다이내믹 레인지뿐만 아니라 수신기가 얼마나 효과적으로 반사파 성분을 제거할 수 있는지에 의해 결정된다. 따라서 채널 등화기가 제거할 수 있는 반사파의 지연 (delay) 범위, 제거 가능한 반사파의 크기 (amplitude), 채널 변화에 대한 적응 속도 (convergence rate) 개선에 많은 초점이 모아져 왔으며 현재까지 수신기 성능을 평가하는 중요 잣대가 되고 있다. 그림 2 는 최신 ATSC 수신기에 사용된 채널 등화기 구조를 나타낸 것으로 피드포워드 필터와 피드백 필터, 경판정기 및 TCM 디코더로 이루어진 판정 궤환 (decision feedback) 형태로 구성되어 있다. 최신 채널 등화기는 채널 상태에 따라 동작 파라미터 (parameter)를 자동 제어함으로써 반사파 개수와 크기 및 변화량에 관계없이 다양한 채널 환경에서 최적의 성능을 유지할 수 있도록 설계 되었다.

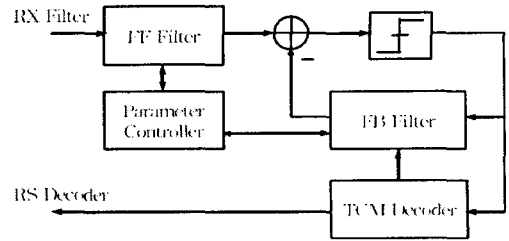


그림 2. 채널 등화기의 구조

그림 3 은 최신 채널 등화기의 성능을 A/74 권고안과 비교한 것으로 권고안을 훨씬 상회하는 채널 등화 성능을 확인할 수 있다 [3]. 그림에서 알 수 있듯이 최신 채널 등화기는 -46 +57 sec 지연 범위 내의 반사파에 대해 대응할 수 있을 뿐만 아니라 -16 +16 sec 영역에서는 0dB 의 강한 반사파도 제거할 수 있다. 또한 C/N 18dB 인 상황에서도 후 반사파 (post-echo) 성분에 대해 등화 성능에 큰 열화가 없음을 보여 주고 있다. 이는 신호 전계 (strength)가 낮은 상황에서도 반사파 제거가 원활하게 이루어질 수 있음을 뜻한다.

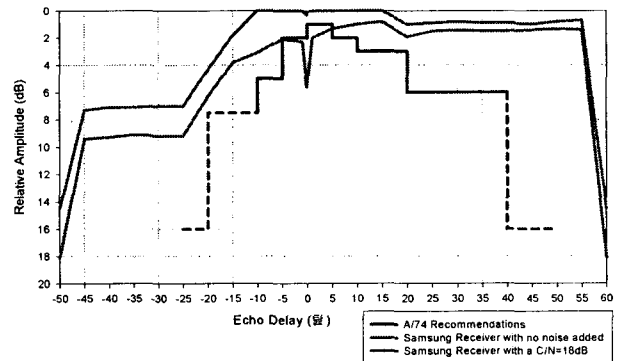


그림 3. 최신 채널 등화기의 반사파 제거 성능 (CRC)

표 3 은 두 개의 강한 반사파 성분이 주 경로 (main path) 신호의 전후에 +1 sec 오프셋을 가지고 존재하는 환경에 대한 실험 결과이다. 이전 수신기에서 볼 수 없었던 넓고 강력한 페어 반사파 제거 성능을 확인할 수 있는데 이는 최신 ATSC 수신기가 OCR 이나 DTX 를 적용한 환경에 효과적으로 대응할 수 있음을 의미한다.

Signal Level (dBm)	Echo Power (dB)	Doppler Rate (Hz)	Echo Delay (μs)	
			Pre Echo	Post Echo
-53	6	0.2	-23.0	24.0
-53	3	0.2	-15.5	16.5
-53	0	0.2	-11.5	12.5

표 3. 페어 (pair) 반사파 제거 성능 (CRC)

최근 DTV 보급이 본격화 되면서 실내 수신 안테나의 가용성에 대한 관심이 높아지고 있다. 실내 수신 환경은 주변 건물에 의한 반사파 성분이 풍부하고 사람이나 차량의 움직임에 의한 채널 변화가 심하다. 따라서 실내 수신 환경에서는 채널 등화기의 빠른 적응 속도가 관건이 된다. 표 4 는 최신 채널 등화기가 대응할 수 있는 단일 (single) 반사파 성분의 최대 도플러

레이트 (Doppler Rate)를 실험한 결과이다. 모든 영역에서 향상된 성능을 보여 주지만 특히 0dB 의 강한 반사파 성분에 대한 개선이 두드러진다. 일반적으로 채널 등화기의 반사파 제거 범위와 동적 성능 (dynamic performance)은 반비례하는 것이 통례이나 최신 채널 등화기는 두 가지 성능을 모두 만족하고 있다.

Signal Level (dBm)	Echo Delay ((s)	Echo Power (dB)	C/N (dB)	Doppler Rate (Hz)
-53	-5	0	25	1.8
-53	-5	-3	25	3.9
-53	-5	-10	25	85
-53	5	0	25	1.8
-53	5	-3	25	29
-53	5	-10	25	238

표 4. 단일 반사파의 최대 허용 도플러 레이트 (CRC)

III. 다중 경로 페이딩 채널 성능

본 절에서는 최신 ATSC 수신기의 다중 경로 페이딩 채널 성능을 고찰하고자 한다. CRC 테스트 결과를 바탕으로 대표적인 몇 가지 채널 모델에 대해 성능을 차례로 살펴 보도록 하겠다.

A. AWGN 채널 모델

표 5는 신호 전계에 따른 랜덤 노이즈 (AWGN) 성능을 평가한 것이다. 채널 등화기의 넓은 반사파 제거 범위에도 불구하고 이로 인한 잡음 레벨 증가가 미미함을 볼 수 있다.

Signal Level (dBm)	C/N (dB)
-28	15.0
-53	15.0
-68	15.1

표 5. 랜덤 노이즈 성능 (CRC)

B. 브라질 채널 모델

시간에 따른 채널 변화가 없거나 미미한 경우, 성능 평가에 자주 사용되는 것이 브라질 채널 모델이다. 특히 브라질 E 채널 모델은 두 개의 0dB 반사파 성분이 존재하여 판정 귀환 방식을 사용하는 기존 채널 등화기가 대응하기 힘든 것으로 알려져 있다. 표 6 에 나타나듯이 최신 ATSC 수신기는 브라질 E 채널 모델에서 기존 수신기에 비해 2dB 이상의 개선을 보이고 있다.

Signal Level (dBm)	Ensemble Type	C/N (dB)
-53	Brazil A	15.0
-53	Brazil B	17.0
-53	Brazil C	13.5
-53	Brazil D	13.8
-53	Brazil E	19.9
-53	Special Brazil C	14.1

표 6. 브라질 채널 성능 (CRC)

C. CRC 채널 모델

CRC 채널 모델은 정적 반사파 성분과 동적 반사파 성분이 존재되어 있어 수신기의 복합적인 성능을 평가하는데 사용된다. CRC 채널 모델은 크게 두 가지 형태가 있으며 A/74 권고안에 ATSC R.2.1, ATSC R.2.2로 규정되어 있다.

표 7 과 표 8 은 상기 채널 모델에 대한 최신 ATSC 수신기의 성능 평가 결과로서 이전 수신기에 비해 3dB 이상의 두드러진 성능 개선을 보임을 알 수 있다. 이는 안정된 동기 성능, 넓은 반사파 제거 범위, 빠른 채널 적응 속도 등 여러 가지 측면에서 복합적인 성능 개선이 이루어진 것에 기인한다.

D. NTSC 간섭신호 모델

표 9 는 NTSC 간섭 신호 모델에 대한 성능으로 모든 항목에서 A/74 권고안을 만족함을 볼 수 있다. 특히 Comb 필터를 사용하지 않고 동일 채널 간섭신호를 제거함으로써 Comb 필터 사용에 따른 성능 열화를 효과적으로 방지했다.

Signal Level (dBm)	Ensemble Type	Doppler Rate (Hz)	C/N (dB)	Echo Power (dB)
-53	CRC #1	1	25	0
-53	CRC #2	1	25	0
-53	CRC #3	1	25	0
-53	CRC #4	1	25	0
-53	CRC #1	5	25	0.7
-53	CRC #2	5	25	0.6
-53	CRC #3	5	25	0.4
-53	CRC #4	5	25	0

표 7. CRC 채널 모델 (ATSC R.2.1) 성능 (CRC)

Signal Level (dBm)	Ensemble Type	Doppler Rate (Hz)	C/N (dB)
-53	CRC Modified #1	1	15.0
-53	CRC Modified #2	1	18.3
-53	CRC Modified #3	1	14.6
-53	CRC Modified #1	5	15.0
-53	CRC Modified #2	5	21.3
-53	CRC Modified #3	5	16.6

표 8. 변형 CRC 채널 모델 (ATSC R.2.2) 성능 (CRC)

Signal Level (dBm)	NTSC	D/U (dB)	
		Measure d	A/74
-53	Co-channel	2.2	2.5
-68	Lower Adjacent	-41.4	-40.0
-68	Upper Adjacent	-42.1	-40.0

표 9. NTSC 간섭 신호 성능 (CRC)

IV. 필드테스트 결과

본 절에서는 캐나다 CRC 센터에서 수행한 난시정

지역의 50 개 신호 샘플에 대한 평가 결과와 자체적으로 실시한 국내외 수신을 평가 결과를 통하여 최신 ATSC 수신기가 실제 수신 환경에서 얼마나 효과적으로 동작하는지 살펴 보도록 하겠다.

A. 난시청 지역의 신호 샘플 테스트 (CRC)

A/74 권고안에는 기존 DTV 수신기를 사용했을 때 문제가 되었던 50 개의 신호 환경에 대해 기술되어 있다 [3]. 표 10 은 이들 신호 환경에서 캡처한 RF 신호를 인가했을 때, 최신 ATSC 수신기의 성능을 테스트한 결과이다. 카테고리 1 과 2 에 속하는 비율이 76%이며 카테고리 3 을 포함하면 누적 수신율이 98%에 달함을 볼 수 있다². 기존 수신기가 대응되지 않았던 환경이라는 점을 감안할 때, 최신 ATSC 수신기의 이와 같은 성능 향상은 주목할 만 하다

Category #1, #2	Category #3	Category #4
38/50 (76%)	11/50 (22%)	1/50 (2%)

표 10. 난시청 지역의 신호 샘플 테스트 결과 (CRC)

B. 국내 필드테스트

그림 4 는 서울광역시를 포함한 수도권 지역과 지방 5 대 광역시에서 실시한 수신율 테스트 결과이다. 10m 높이의 실외 지향성 안테나를 사용했을 때, 총 1404 개 포인트에서 1 분 동안 화면 깨짐이 없는 비율을 기록한 것이다. 당사가 개발한 최신 ATSC 수신기가 이전 수신기에 비해 수신율이 8% 이상 높음을 볼 수 있다. 실험 대상이 된 1404 개 포인트에는 기존 수신기가 대응되지 않았던 지역이 다수 포함되어 있음을 감안할 때 8%는 의미있는 차이라고 하겠다.

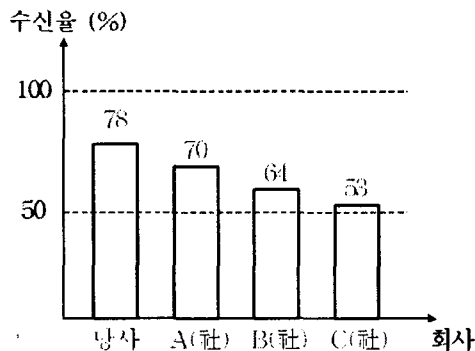


그림 4. 국내 필드테스트 결과

C. 미주 필드테스트

그림 5 는 미국 뉴욕, 볼티모어, 워싱턴, 필라델피아 지역에서 실시한 수신율 테스트 결과이다. 1m 높이의 실외 지향성 안테나를 사용했을 때, 총 896 개 포인트에서 1 분 동안 화면 깨짐이 없는 비율을 기록한 것이다. 국내 필드테스트 결과에 비해 격차는 다소 줄어들었지만 여전히 성능 우위를 보이고 있으며 특히 필라델피아 지역에서는 국내에서와 비슷한 정도의 성능

차이를 보여 준다.

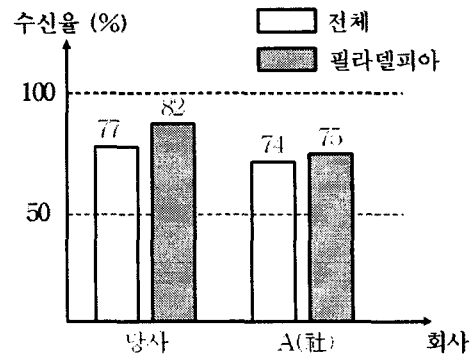


그림 5. 미주 필드테스트 결과

CRC 센터의 샘플 테스트 결과와 국내외 필드테스트 결과는 랩 테스트에서 나타난 성능 향상이 실제 환경에서의 수신율 개선으로 이어짐을 확인시켜 준다. 이는 채널 모델의 유효성을 반증해 주는 것으로 향후 개발 프로세스의 운용에 있어 중요한 시사점을 던져 준다.

V. 결론

본 논문에서는 CRC 센터의 테스트 결과를 토대로 당사가 개발한 최신 ATSC 수신기의 구조와 특징, 각종 다중 경로 페이딩 채널 성능에 대해 고찰해 보았다. 아울러 국내외 필드테스트를 통해 랩 테스트에서 나타난 성능 향상이 실제 환경에서의 개선으로 이어짐을 확인하였다.

시청자의 인지적인 측면에서 봤을 때, 아날로그 방송과 달리 디지털 방송은 시청 가능 여부가 화면 수신 상태에 따라 극단적으로 달라지므로 수신기 성능이 차지하는 비중이 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 최신 ATSC 수신기의 향상된 수신 성능은 DTV 보급이 본격화되고 있는 현 시점에서 매우 중요한 의미를 지닌다고 하겠다.

참고문헌

- [1] ATSC A/53D, ATSC Digital Television Standard, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, 2005
- [2] ATSC A/54A, Guide to the use of the ATSC digital television standard, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, December 2004
- [3] ATSC A/74, Recommended Practice: Receiver performance guidelines, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, June 2004
- [4] Communications Research Centre (CRC) Canada, Laboratory evaluation of the Samsung ATSC receiver (GEMINI chip), version 2.0, August 2005, Available: <http://www.crc.ca/en/html/crc/home/research/broadcast/rtn>
- [5] Yigan Wu *et al.*, An ATSC DTV receiver with improved robustness to multipath and distributed transmission environments, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 50, no. 1, pp.32-40, March 2004
- [6] Tim Laud *et al.*, Performance of 5th Generation

² 카테고리 1과 2는 이상이 없거나 화면으로 파악하기 어려운 소량의 에러가 발생하는 경우, 카테고리 3은 2회 이상 명확한 화면 깨짐이 발생하는 경우, 카테고리 4는 화면을 보기 어려운 정도의 에러가 발생하는 것을 의미함.

8-VSB receivers, *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 50, no. 4, pp.1076-1080, November 2004