유럽 디지털 라디오 시스템의 전송률 향상에 관한 연구

*박경원 김성준 송병철 이경택

전자부품연구원

*kwpark@keti.re.kr

Study on the Datarate Enhancement of European Digital Radio System

*Park, Kyung-Won Kim, Sung-Jun Song, Byoung-Chul Lee, Kyung-Taek

KETI

요약

본 논문에서는 유럽의 디지털 라디오 전송 규격인 DRM(Digital Radio Mondiale)의 Band II 대역 전송 모드인 모드 E의 전송률 향상 기법을 제안한다. DRM 모드 E는 FM 방송과의 동시방송 등의 문제를 고려하여 100kHz 대역폭에서 186kbps의 전송률을 제공한다. 하지만, 이 전송률은 모바일TV 등 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 부족하기 때문에 전송률의 향상이 요구된다. 논문에 제안된 전송률 향상기법은 기존의 DRM 모드에 변조방식 및 부호방식을 추가하는 방식으로 최대 350kbps의 전송률 제공이 가능하며, FAC(Fast Access Channel)의 예약필드에 신규 방식에 대한 정보를 전송함으로써 기존 시스템과 호환성을 유지할 수 있다. 모의실험 결과에서, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널의 비트오류율 1e-4를 기준으로 223kbps의 전송을 위해서는 13dB의 SNR(Signal-to-Noise Ratio)이 요구되며, 351kbps의 전송률 제공을 위해서는 약 18dB의 SNR이 요구됨을 확인할 수 있다. 또한, 다중경로 페이딩 채널환경에서 부호율이 1/2인 경우에는 이동속도보다는 지연확산이 성능에 영향을 주지만, 부호율이 1/2 보다 크며 150Km/h이상 증가하면 오류마루가 발생함을 확인할 수 있다.

1. 서론

최근 전 세계적으로 고품질의 서비스 제공 및 한정된 자원이 주파수를 효율적으로 관리하기 위하여 아날로그 라디오 및 TV를 디지털로 전환하고 있다. 국내에서도 아날로그 TV방송은 2012년 12월 말에 종료되어 2013년부터 디지털로 전환되며, 라디오의 경우에도 디지털라디오추진위원회 등이 구성되어 아날로그 AM 및 FM을 디지털로 전환하려는 움직임이 있다[1]. 특히, 국내 도입이 유력시 되고 있는 DRM(Digital Radio Mondiale)은 30MHz 대역 이하의 아날로그 AM 라디오 방송을 디지털로 전환하기 위한 유럽 디지털 라디오 규격으로 인도에서 디지털 라디오 방식으로 채택되었다. 기존의 음성 중심의 AM 라디오 방송에 비하여 DRM은 FM 라디오급 스테레오 오디오 품질을 제공하며 문자메시지, 슬라이드 쇼, 교통정보 등 다양한 데이터 서비스를 제공한다. 또한, 아날로그 AM 방송과 동일한 서비스 범위를 제공하면서도 송출 전력을 크게 줄일 수 있는 장점이 있다.

방송설비 비용 및 단말기 비용을 줄이기 위하여 아날로그 AM과 FM 라디오 방송을 동일한 규격으로 디지털 전환하려는 움직임이 있다. 이를 지원하기 위하여 DRM 컨소시엄은 174MHz 이하 FM 주파수 대역에서 동작하는 모드를 DRM 규격에 DRM+로 칭하는 새로운 모드 E를 추가하였으며 유럽의 표준화 단체인 ESTI에서 2009년 9월에 표준화가 완료되었다[2]. 그러나 기존의 FM 라디오 스테이션이 많은 상황에서 바로 디지털로 전환하는 것은 힘들 것으로 예상된다. 따라서 초기에는 DRM 모드 E와 FM인 동시방송 서비스를 제공할 것이며, 차후 아날로그 FM을 철수한 후 완전히 디지털로 전환될 것으로 예상된다. 이러한 이유로 DRM+는 100kHz 대역폭에서 최대 186kbps의 전송률만을 지원하며, 그러나 이는 외부 오류정정부호를 고려 시 실시간 모바일TV 등 멀티미디어 서비스를 제공하기에는 부족하다. 따라서 디지털 라디오에서 오디오 서비스 이외에 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 전송률 향상이 요구된다.

본 논문에서는 전송률 부족문제를 해결하기 위한 방법으로 현재의 DRM+ 규격에 추가 모드를 제안한다. 2절에서는 DRM 시스템을 살펴보며, 3절에서는 현재의 DRM 규격과 호환성을 유지하면서 전송률을 향상시킬 수 있는 방식을 제안하고 4절에서 제안된 방식의 성능을 분석하며 5절에서 결론을 맺는다.

2. DRM 시스템 개요

기존의 DRM 물리계층은 AM 주파수 대역의 다양한 전송 환경에서 사용하기 위하여 다중경로 페이딩 채널에 강건한 OFDM 기반으로 설계되었으나[3], DRM+ 경우에 FM 주파수 대역에서 강건한 전송이 가능하도록 기존 DRM 규격에 새로운 모드를 추가하였다. FM 대역은 AM 대역에 비하여 무선채널환경, 특히 이동속도에 따른 Doppler 확산에 민감하기 때문에 DRM+의 경우에 100kHz 대역폭에서 4/16QAM 변조방식으로 전송한다. 채널 부호기로는 길쌈 부호를 기반으로 한 다중레벨부호(MLC: Multi-level Coding) 를 적용하고 계층적(Hierarchical) 변조 방식을 사용하여 보다 높은 신뢰성을 보장한다[2][4]. 오디오 및 데이터 스트림은 각각 오류보호방식에 따라 EEP(Equal Error Protection)와 UEP(Unequal Error Protection)로 구성된다. DRM+는 100kHz 대역폭에서 최대 186kbps의 전송률이 지원된다. 또한, DRM+는 패킷모드인 경우에 데이터 스트림에 오류정정 능력이 8인 RS(Reed- Solomon) (255, 239, t=8)의 축약부호

(Shortened Code)인 RS(C+16, C, t=8) 부호를 추가로 사용할 수 있다.

전송 프레임은 수신기에서 요구되는 채널 정보와 서비스 관련된 정보를 지닌 FAC(Fast Access Channel), 오디오와 데이터를 포함하는 MSC(Main Service Channel), MSC의 채널 부호화 파라미터, 오디오 및 데이터 신호의 다중화에 대한 정보를 지닌 SDC(Service Description Channel)로 구성되며, DRM의 경우에 3개, DRM+의 경우에 4개의 프레임이 하나의 슈퍼프레임을 구성한다.

표 1. DRM 시스템 전송 파라미터

모드 / 항목	A	B	C	D	E (DRM+)
T (μs)	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$
유효심볼 길이(ms)	24(288×T)	$21^{1/3}$(256×T)	$14^{2/3}$(176×T)	$9^{1/3}$(112×T)	$2^{1/4}$(27×T)
보호구간 길이(ms)	$2^{2/3}$(32×T)	$5^{1/3}$(64×T)	$5^{1/3}$(64×T)	$7^{1/3}$(88×T)	$0^{1/4}$(3×T)
보호구간/유효심볼	1/9	1/4	4/11	11/14	1/9
전체심볼 길이(ms)	$26^{2/3}$	$26^{2/3}$	20	$16^{2/3}$	$2^{1/2}$
프레임 길이(ms)	400				100
주파수 대역(MHz)	< 30				30-120
대역폭(kHz)	4.5/5/9/10/18/20				100
전송률(kbps)	8-72				35-190
MSC 변조방식	4/16/64QAM				4/16QAM
오류정정부호	Punctured Convolutional Code(PCC)				(RS)+PCC

3. 제안된 전송률 향상 방식

본 절에서는 DRM 모드 E, 즉 DRM+의 전송률 향상 방법으로 기존 DRM 규격을 최소한도로 변경하기 위하여 64QAM 변조방식과 MLC를 신규 MSC 전송 모드로 제안한다. 제안된 전송률 향상 방식은 기존의 DRM 모드에 변조방식 및 부호방식을 추가하는 방식으로 최대 350kbps의 전송률 제공이 가능하며, FAC(Fast Access Channel)의 예약필드에 신규 방식에 대한 정보를 전송함으로써 기존 시스템과 호환성을 유지할 수 있다. 그림 2는 64QAM 변조방식을 사용할 경우에 MLC의 각 비트레벨 별 부호율 및 전체 부호율을 정리한 것이다. 보호레벨(Protection Level)이 0인 경우에 전체 부호율은 1/2이고 보호레벨이 3이면 전체 부호율은 106/135≈0.78이다.

표 2. 64QAM를 위한 보호레벨 및 MLC 비트레벨별 부호율

Protection Level	R_all	R_0	R_1	R_2	RY_icm
0	1/2(0.50)	1/4	1/2	1/3	4
1	27/45(0.6)	1/3	2/3	4/5	15
2	17/24(0.71)	1/2	3/4	7/8	8
3	106/135(0.78)	2/3	4/5	8/9	45

표 3은 EEP의 경우에 변조방식에 따른 전송률 및 스펙트럼 효율을 비교한 것이다. 표 2의 보호레벨에 따라 223kbps에서 350kbps까지 총 4 가지의 전송률을 제공할 수 있으며, 이러한 경우에 2.5 - 3.5bits/s/Hz의 스펙트럼 효율을 지닌다.

표 3. 변조방식에 따른 전송률 및 스펙트럼 효율 비교

EEP Overall Coderate, R	4QAM		16QAM		64QAM	
	Datarate (kbps)	Spectral Efficiency (bits/s/Hz)	Datarate (kbps)	Spectral Efficiency (bits/s/Hz)	Datarate (kbps)	Spectral Efficiency (bits/s/Hz)
1/4(0.25)	37.3	0.37	-	-	-	-
1/3(0.33)	49.7	0.49	99.36	0.99	-	-
2/5(0.40)	59.6	0.59	-	-	-	-
23/56(0.41)	-	-	122.4	1.22	-	-
1/2(0.50)	74.5	0.74	149.1	1.49	**223.6**	**2.23**
5/8(0.62)	-	-	186.4	1.86	-	-
27/45(0.6)	-	-	-	-	**268.2**	**2.68**
17/24(0.71)	-	-	-	-	**316.7**	**3.16**
106/135(0.78)	-	-	-	-	**351.0**	**3.51**

4. 모의실험

본 절에서는 제안된 DRM+의 64QAM/MLC의 성능을 평가하기 위하여 DRM 컨소시엄에 제안된 87.5-108 MHz의 Band II 대역 무선 채널 모델을 이용하였다[6]. 또한, DRM 컨소시엄에 제안된 모델 이외에 기준 성능지표를 확보하기 위하여 이동속도가 300Km/h이고 주파수 비선택 페이딩 채널 모델인 Flat-fading 모델을 별도로 추가하였다. RMS(Root Mean Square) 지연확산은 Rural 모델이 0.42us이고, Urban 모델이 0.78us이며, 이동속도는 각각 60Km/h와 150Km/h로 정의된다[1]. 3가지 채널모델 모두 Jakes Doppler PSD(Power Spectral Density)을 지니며, 모의실험에서 반송파주파수는 100 MHz로 설정하였다.

다음 그림 1은 모의실험에 이용된 전체 DRM 송수신 블록도를 도시한 것이다. 모의실험에서 오디오 및 데이터 서비스 컨텐츠가 전송되는 MSC는 EEP를 이용하고, 제안된 64QAM/MLC 변조/부호 방식이 적용되며, 600 ms 깊이의 시간 인터리빙이 적용된다.

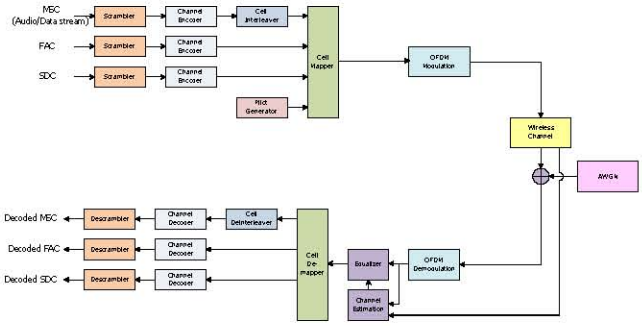


그림 1. 모의실험 블럭도

64QAM가 적용된 경우에 MLC 복호기는 소프트 정보, 즉 LLR(Log Likelihood Ratio)을 복호에 활용하는 3개의 Viterbi가 필요하다. DRM+의 이득 참조셀(Gain Reference Cell)을 통하여 추정된 채널계수가 $\hat{H}_k$로 표현되는 경우에 등화된 수신신호 $\hat{z}_k = z_k / \hat{H}_k$에 가장 가까운 좌표를 나타내는 경우에 각 비트의 연판정을 위한 근사화 LLR은 다음과 같이 표현된다[1].

$$L_k(b) = \rho_k(\min_{x_0 \in S_0^b} |\hat{z_k} - x_0|^2 - \min_{x_1 \in S_1^b} |\hat{z_k} - x_1|^2), \quad b = 0,1,\cdots,M-1 \qquad (1)$$

여기서 S_0와 S_1은 각각 가능한 모든 성좌도 심볼 중 b번째 비

트가 0과 1인 성좌도 심볼의 집합을 의미한다. 또한 ρ_k는 해당 비트의 SNR(Signal to Noise Ratio) 요소를 나타내며, 백색잡음만 존재하는 경우에 SNR(Signal-to-Noise Ratio)은 $\rho_k = |\hat{H}(k)|^2$ 로 같이 단지 추정된 채널의 전력에 의하여 결정된다. 반복 다중단계 복호기는 반복횟수가 시스템의 성능을 결정한다. DRM 시스템의 경우에 반복횟수가 4회 이상이면 성능 개선효과가 없는 것으로 알려져 있다[5].

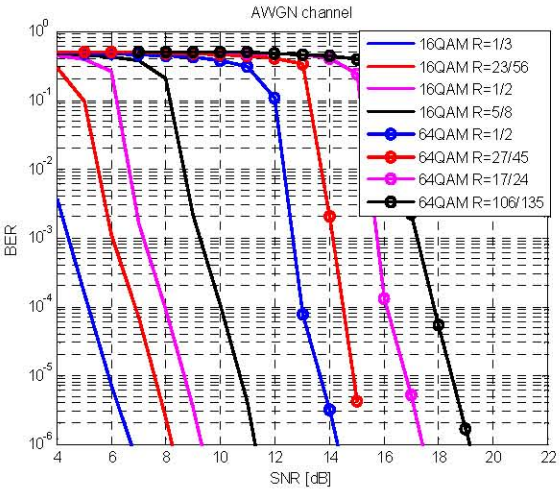
모의실험에서는 규격에 제시된 DRM 성능기준과 맞추기 위하여 이상적인 채널추정 및 ZF(Zero-Forcing) 등화와 이상적인 동기화를 가정하며, MLC의 반복횟수는 2회를 적용하였다.

그림 2는 제안된 방식에 따른 MSC 성능에 대한 모의실험 결과를 도시한 것이다. 그림 2(a)는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 표 1에 기술된 4가지 전체 부호율에 따른 비트오류율 성능을 도시한 것이다. 비트오류율 1e-4를 기준으로 223kbps의 전송을 위해서는 13dB의 SNR이 요구되며, 351kbps의 전송률 제공을 위해서는 약 18dB의 SNR이 요구된다. 또한, 동일한 부호율에서는 약 5dB의 SNR을 요구하며, 전송률을 두 배로 증가시키기 위해서는 약 8dB SNR이 요구됨을 확인할 수 있다.

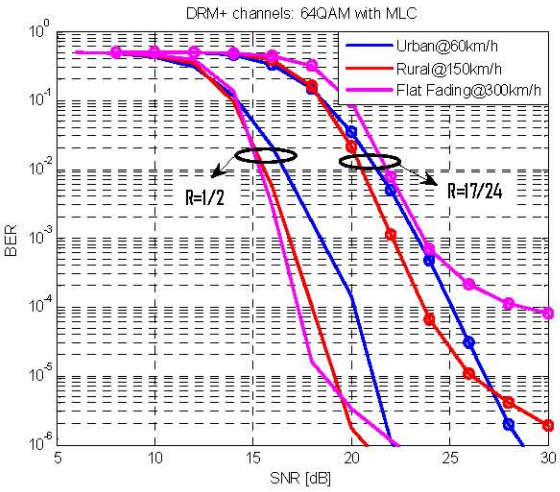
그림 2(b)는 Urban, Rural, Flat-fading 채널환경 및 이동속도에 따른 MSC의 비트오류율 성능을 보여준다. R=1/2 부호까지는 Doppler 확산에 의한 ICI(Inter-carrier Interference)의 영향보다는 시간/주파수 영역 인터리이빙에 의한 다이버시티와 MLC의 결합 효과가 더 큰 영향을 줌을 확인할 수 있다. 즉, 다중경로 지연확산이 커서 주파수 선택적 페이딩이 커지지만 시간에 따라 채널의 변화 속도가 느린 Urban 채널 보다, 지연확산이 작아서 주파수 선택적 페이딩이 낮으나 시간에 따른 채널 변화 속도가 큰 Rural이나 Flat fading 채널에서 보다 우수한 성능을 보인다. 하지만 SNR이 더 커지면 낮은 비트오류율에서 ICI에 때문에 오류마루가 발생한다. 한편, 이동속도가 60km/h인 Urban채널은 64QAM에서도 Doppler 확산에 의한 ICI가 적지만, 이동속도가 각각 150Km/h와 300Km/h인 Rural과 Flat-fading 모델은 부호율이 낮아질수록 BER 성능이 이동속도에 민감해지며 Doppler에 의한 ICI 때문에 SNR이 개선되더라도 비트오률율이 줄어들지 않는 오류마루가 발생한다.

5. 결론

본 논문에서는 유럽의 디지털 라디오 전송 규격인 DRM의 Band II 대역 전송 모드인 모드 E, DRM+의 전송률 향상 기법을 제안하였다. 논문에 제안된 전송률 향상기법은 기존의 DRM 모드에 변조방식 및 부호방식을 추가하는 방식으로 최대 350kbps의 전송률 제공이 가능하며, 기존 시스템과 호환성을 유지할 수 있다. 모의실험 결과에서, AWGN 채널의 비트오류율 1e-4를 기준으로 223kbps의 전송을 위해서는 13dB의 SNR이 요구되며, 351kbps의 전송률 제공을 위해서는 약 18dB의 SNR이 요구됨을 확인할 수 있다. 또한, 다중경로 페이딩 채널 환경에서 부호율이 1/2인 경우에는 이동속도보다는 지연확산이 성능에 영향을 주지만, 부호율이 1/2 보다 크며 150Km/h이상 증가하면 오류마루가 발생함을 확인할 수 있다. 고속의 이동속도에서는 오류마루를 방지할 수 있는 기술에 대한 추가 연구가 요구된다.



(a) AWGN 채널



(b) DRM+ 채널

그림 2. AWGN 및 DRM+ 채널에서의 비트오류율 성능

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10039196, 전 세계 라디오 수신기술 및 스마트 기기 연동을 위한 스마트 플랫폼 개발]

참고문헌

[1] 박경원, 김성준, 서정욱, 이연성, 전원기, "Band-II 대역 다중경로 페이딩 채널에서 DRM+ 시스템의 성능 분석," 대한항행학회 논문지, vol. 14, no. 1, pp. 33-40, Nov. 2010.

[2] "Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification," European Telecommunication Standards Institute (ETSI), ESTI ES 201 980 v3.1.1, 2009.

[3] J. A. C. Bingham, "Multicarrier moudaltion for data transmission: An idea whose time has come," IEEE Comm.un. Mag., pp.5-14, 1990.

[4] F. Hofmann, "Multilevel coding (MLC) in digital radio mondiale (DRM)," in Kleinheu- bacher Berichte, vol. 44, pp.. 274-278, 2000.

[5] 박경원, 김성준, 서정욱, 권기원, 박세호, 백종호, "DSP 기반 DRM 수신기 구현," 대한임베드디드공학회 논문지, vol. 3, no. 4, pp. 235-243, Nov. 2008.