

Crest Factor Reduction 기술을 이용한 위성 DMB용 Gap Filler 소형화 개발

*이학용, *이홍배, **이영수
*씨앤에스마이크로웨이브, **SK Telecom

Downsizing of Gap Filler for Satellite DMB using Crest Factor Reduction Technology

*Hak Yong Lee, *Hong Bae Lee, **Young Su Lee
*C&S Microwave Co. Ltd., **SK Telecom

Abstract - 각종 신호의 디지털 전송에서 Modulation 기법에 의해 발생하는 PAPR (Peak to Average Power Ratio)은 전송 신호의 선형성을 보장하기 위하여 고출력 증폭기의 Back-off를 요구하게 된다. 이러한 고출력 증폭기의 Back-off요구로 인하여 원하는 출력에 비해 높은 전력소모량이 필요하여 대출력을 요구하는 장비의 소형화는 크게 제한을 받게 된다. 본 논문에서는 PAR을 감소하기 위한 CFR(Crest Factor Reduction)기법을 위성 DMB용 Gap Filler에 적용하여 장비 크기를 소형화한 사례에 대해 소개한다.

전송신호의 품질에 대한 영향을 최소화 하면서 PAR을 감소하기 위한 방안을 위해 도입된 Simulation 결과와 CFR기법을 적용한 장비에 대한 성능시험 결과 및 필드 테스트 결과에 대해 소개한다.

1. 서 론

디지털 모듈레이션 기법은 RF 및 Microwave 통신에 혁신을 가져 왔다. 셀룰라 시스템은 아날로그 시스템에서 CDMA, GSM 등의 표준으로 이동하였고 WCDMA 등의 3세대 이동통신으로 진화하였다. 또한 방송의 영역에서도 디지털 모듈레이션의 시대에 돌입하여 HDTV, DMB등에 디지털 변조 기법이 사용되고 있다.

3세대 시스템으로의 진화를 통해 신호의 PAPR (Peak to average power ratio)은 점점 더 커지게 되었다. 아날로그 FM은 일정한 전력값에서 동작되고 아날로그 AM의 경우 최대치는 6dB정도로 동작되게 된다. 반면에 다중 채널을 결합하여 사용하는 3세대 이동 통

신 같은 경우 채널의 결합방식등에 따라 PAPR이 크게 달라진다. 이러한 신호의 성질은 Mixer나 증폭기 같은 시스템 모듈에서 최대전력을 고려한 설계를 하지 않으면 심한 왜곡이 생기게 된다.

이러한 신호의 PAPR을 줄여서 증폭기 등에 요구되는 Back-off를 줄이고자 하는 시도가 다양하게 이루어지고 있었다.[1]-[5] 이러한 논문들에서는 WCDMA, CDMA등의 경우 적절한 Walsh Code혹은 OVFSF Code의 조합을 통하여 CFR(Crest Factor Reduction)을 구현하는 방법 등에 대해 소개하고 있다.

한국의 위성 DMB표준으로 채택된 Digital System E의 경우 32채널의 Walsh코드를 이용한 CDM(코드분할 다중, Code Division Multi-plexing)방식을 채택하고 있다.[6] 이러한 CDM방식에 따른 변조를 수행하면 PAPR은 상당히 커져서 평균전력대비 적어도 10dB이상 높은 순간 최대 전력이 발생하게 된다.

그림 1에 System E의 변조방식에 따른 CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function)를 나타내었다. 32개의 랜덤변수를 MUX하였을 때를 이론적으로 계산한 결과이다. 평균전력보다 적어도 9.5dB 보다 높은 전력을 가지는 확률이 0.01% 수준이 된다. 그러나, 방송의 특성상 앞서 논문들에서 소개된 Code Selection기법 등을 이용한 CFR기법은 적용이 힘들게 된다.

본 논문에서는 위성 DMB용 재생증폭기인 Gap Filler에서 높은 PAPR을 저감하기 위한 CFR기법을 소개하고 그 유효성을 검증하기

위한 시뮬레이션 결과를 비교한다.

또한 실제 구현을 하여 성능 시험한 시험결과와 필드시험 결과에 대해 간략히 정리하도록 한다.

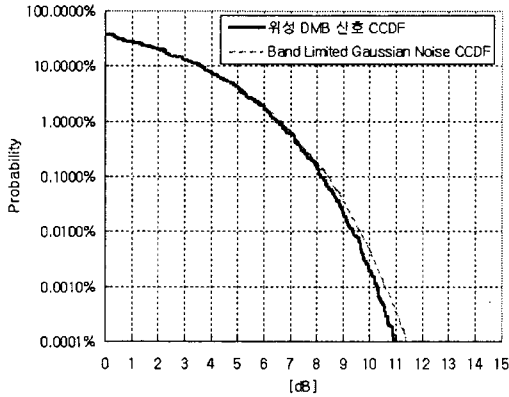


그림 1 위성 DMB신호의 CCDF

2. CFR구현 방식

2.1 위성 DMB용 Gap Filler

System E를 기반으로 하는 위성 DMB는 위성을 통하여 CDM규격의 S-band신호를 송출하여 단말기가 수신함으로써 멀티미디어 방송서비스를 하는 것을 기본으로 한다. 그러나, 도심지역과 같이 위성 신호를 직접 수신할 수 없는 음영지역의 서비스 품질 개선을 위하여 지상의 보조중계장비인 Gap Filler를 사용하고 있다.[7] 현재 사용하고 있는 Gap Filler 장비는 위성을 통하여 CDM 본방송과 동일한 내용의 TDM형식의 보조방송을 수신하여 위성 링크 구간의 채널에 의한 신호오차를 보정하여 CDM형식으로 변조하여 송출하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 Gap Filler의 핵심특징은 본방송과 동일한 품질의 Error-Free한 신호를 송출할 수 있다는 데 있다.

2.2 CDM변조 과정에서 CFR 방안

32개의 채널을 Multiplexing하는 과정에서 많은 수의 Payload가 우연히 같은 부호를 가질 가능성이 존재하기 때문에 평균전력대비 순간적으로 높은 전력을 가지는 경우들이 나타난다. 각 채널에 동일한 이득을 준다고 가정하였을 때 ± 1 의 값을 가지는 32개의 Random변

수를 MUX 하면 +32로부터 -32까지의 MUX결과를 예상할 수 있지만 이항분포 확률로 계산하여 보면 절대값이 16이상이 나올 확률은 0.2%정도 밖에 되지 않고 20이상이 나올 확률은 0.01%수준이 된다.

따라서 이렇게 확률적으로 가능성이 낮은 순간적인 첨두치를 일정 크기 이하로 Clipping하는 기법이 유효할 수 있다. CDM 과정의 Spreading-Despreading 특성상 칩단위에서 순간적으로 높이 올라오는 데이터를 Clipping하더라도 Despreading 과정에서 이러한 Clipping에 의한 변화가 Symbol단위의 복조된 데이터에 오류를 발생시킬 가능성은 극히 적다고 볼 수 있다.

따라서 복잡한 기법을 동원하지 않고 확률적으로 희박한 높은 신호레벨을 Clipping하는 방안으로 CFR을 시도하였다. 그림 2에 CDM 과정에서 CFR을 적용한 위치를 나타내었다. 그림 2의 I,Q 각각의 경로에서 MUX 이후인 Point 1이나 Digital Filter후에 Quadrature modulation한 이후인 Point 2에서 각각 Clipping에 의한 CFR을 적용하는 방안을 검토하였다.

문제는 EVM(Error Vector Magnitude), CDP(Code Domain Power), SER(Symbol Error Rate)등의 규격을 만족하면서도 PAPR을 줄여서 Power Amplifier의 소모 전력을 현저히 줄일 수 있는 Clipping Level을 찾는 것이다.

CFR에 의하여 영향을 받을 수 있는 위성 DMB의 Gap Filler의 최소 요구규격은 아래의 표와 같다.

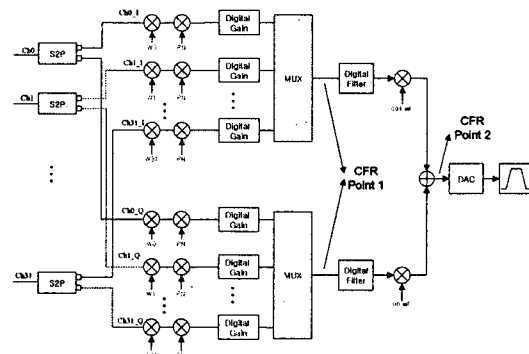


그림 2 CDM세부 블록도 및 CFR 구현 위치

2.3 MUX 이후 CFR분석

그림 3에 MUX 이후에서 CFR을 적용하는 개념도를 나타내었다. 각각의 I, Q데이터에 Walsh, PN code에 의한 Spreading후에 32 채널 데이터를 MUX하고 일정 크기 이상이 되면 정해진 크기로 데이터를 Clipping하는 것으로 구현하였다. 이 방식은 clipping 이후에 FIR Filter를 거치기 때문에 Spectrum의 왜곡현상이 없게 된다.

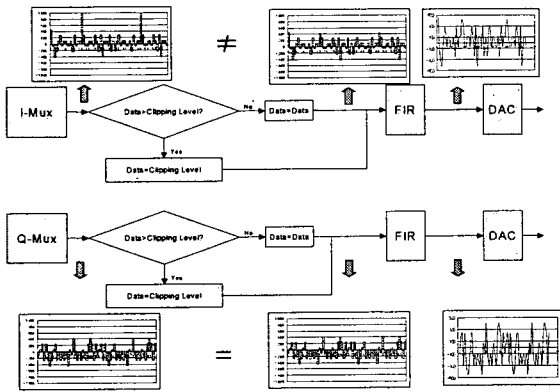


그림 3. MUX 이후 CFR 방안 개념도

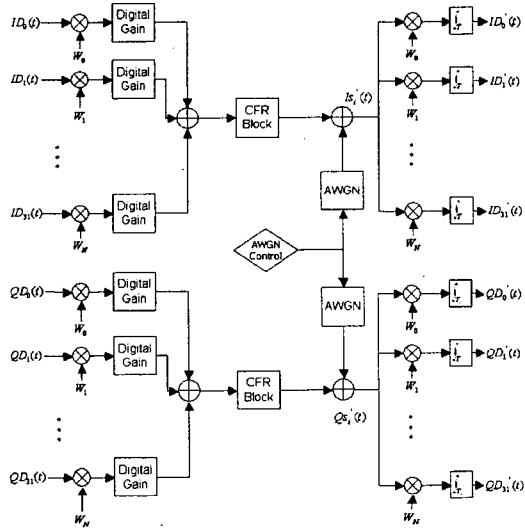


그림 4. MUX 이후 CFR 영향 분석 블록도

이러한 CFR 방식에서 신호 왜곡에 대한 정도를 분석하기 위하여 그림 4와 같이 CDM변복조 환경에 백색잡음 영향에서의 시뮬레이션 환경으로 여러 크기의 Clipping Level에 따른 SER특성을 시뮬레이션 하였다.

그림 5에 CFR 레벨을 변화시켰을 때 0.01%에서의 CCDF의 변화에 따른 SER확률 시뮬레이션 결과 그래프를 나타내었다. CCDF가 7.5dB가 되도록 CFR을 적용하였을 경우 AWGN환경에서 10^{-4} 수준의 SER을 얻기 위해서는 CFR을 적용하지 않았을 때보다 1.5dB정도 높은 전력을 송출해야 한다는 것을 알 수 있다. 10^{-3} 수준의 SER을 얻기 위해서는 CFR적용하지 않았을 때 대비 1dB이상 높은 전력을 송출해야 한다.

CCDF 8.5dB수준으로 CFR을 적용하면 CFR을 적용하지 않은 신호대비 0.2dB정도의 추가적인 전력을 송출이 필요하여 거의 차이 없는 상황이 된다는 것을 알 수 있다.

2.4 Quadrature Modulation 후 CFR 적용

그림 2에 표현된 대로 I, Q 각 채널에서 Digital Filter를 거치고 아날로그 방식으로 Carrier를 곱하지 않고 디지털 방식으로 Quadrature Modulation을 수행한 이후에 CFR을 적용하는 기법을 생각할 수 있다. 이러한 방식은 Quadrature Modulation을 통해 벡터합을 구한 후에 CFR을 적용하는 것이므로 보다 효과적일 수 있다.

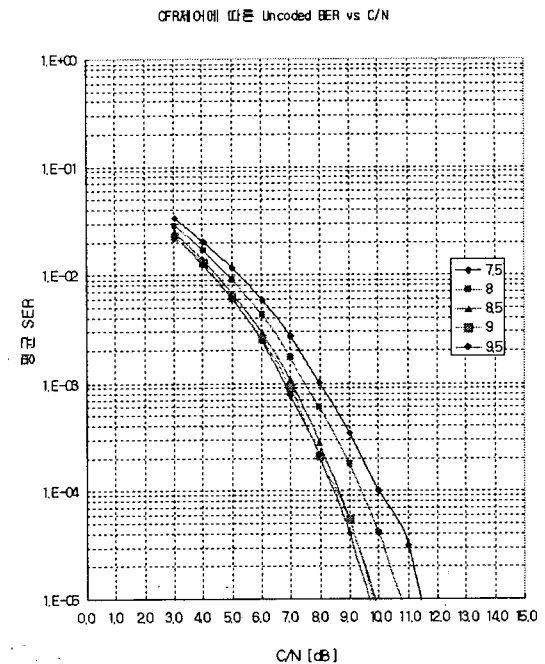


그림 5. MUX 이후 CFR적용에 따른 SER 확률비교

그러나 Digital Filter를 거친 이후에 Clipping을 하기 때문에 Spectrum Mask에 영향을 받게 된다. 따라서 이러한 방식을 구현하기 위해서는 CFR 블록 뒤의 아나로그 파트에서 SAW필터와 같은 대역통과 필터를 사용하여 Clipping에 의해 발생하는 대역외 Spurious를 제거해 주어야 한다.

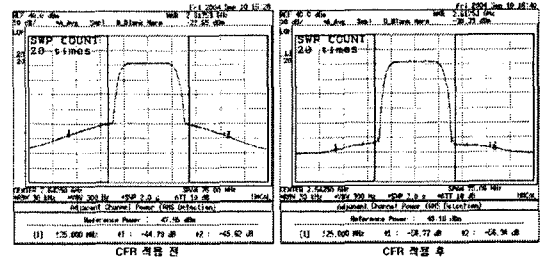


그림 7. CFR 적용 전후의 LPA ACPR비교

3. CFR 구현 및 검증

3.1 특성변화

검토된 CFR기법을 실제 Gap Filler에서 구현한 결과 MUX 이후 CFR를 적용하였을 때 대비하여 Quadrature Modulation 후에 적용할 때, 같은 CCDF에서 CDP, SER특성 등에서 좋은 특성을 보였다.

Clipping Level을 더 조절하여 CCDF를 더 낮출 수 있지만 Power Amplifier의 소모 전력도 줄이면서 송출신호의 왜곡도 최소화하는 방안으로 CCDF 8.5dB로 제작하였다. 그림 7에 CFR적용 전후의 Gap Filler출력의 CCDF변화를 나타내었다. CFR적용 전에 0.01%에서의 CCDF가 9.5dB이상이었다면 CFR적용후에는 8.5dB로 변화되었다. Gap Filler용으로 개발된 Power Amplifier Unit에 CFR적용 전후의 신호를 인가하여 측정된 ACPR 시험 결과를 그림 6에 나타내었다. CFR 적용 전의 신호로는 ACPR이 45dBc수준이었는데 CFR 적용한 신호로는 55dBc정도로 개선이 되었다. 따라서 PAU의 Back-off를 좀더 낮추어 설계가 가능하였다. CDP특성이나 SER특성은 8.5dB수준의 CFR 적용 신호로는 거의 달라지지 않았다.

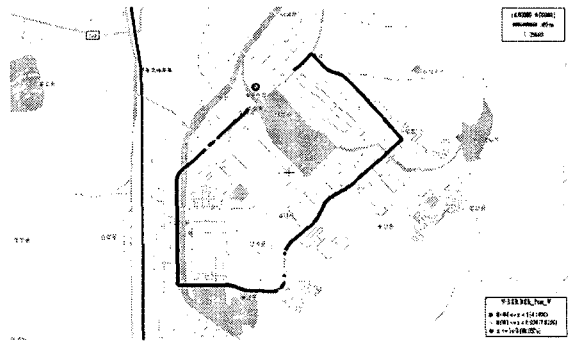


그림 8. CFR 적용 전 Coverage 시험결과(분당)

3.2 Filed Test결과

CFR적용 전후의 Gap Filler를 이용하여 실제 필드에 적용하여 적용 전후의 Coverage를 측정하였다. 시험은 서초, 노원, 분당 등의 시험 국소를 선정하여 진행하였으며 CFR적용 전후의 Gap Filler로 각각 신호를 송출하고 Coverage 시험을 진행하였다. CFR 적용 전의 Coverage대비 CFR을 7.5dB 수준으로 적용하였을 때는 5~10%의 Coverage손실이 생긴 반면 CFR을 8.5dB로 적용한 시험에서는 1%대의 손실만 발생하였다.

그림 8에 CFR 적용 전의 분당지역의 시험 국소의 필드시험 결과를 나타내었고, 그림 9에는 CFR을 7.5dB로 적용하였을 때, 그림 10에는 CFR을 8.5dB로 적용하였을 때의 시험 결과를 나타내었다.

3.3 장비 소형화

CFR 기법으로 Gap Filler의 송출 PAPR을 줄여서 1차 제품에 비해 소모전력을 대폭 감소한 설계가 가능하여 표 1과 같이 장비의 크기를 체적비로 50% 수준으로 줄일 수 있었다.

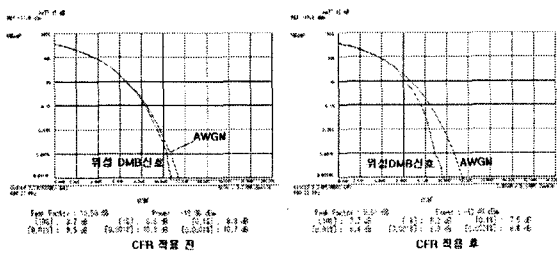


그림 6. CFR적용 전후의 CCDF비교

4. 결론

본 논문에서는 위성 DMB 신호의 PAPR을 줄이기 위한 CFR 기법에 대한 분석을 통하여 실제 제품을 구현하고 필드테스트를 실시하여 성능을 검증하였다. 비교적 단순한 Clipping에 의한 CFR기법을 제안하였고 실제 적용결과 필드에서의 영향을 최소화 하면서 소모전력을 대폭 저감하여 장비 소형화 개발에 유용하게 활용되었다.

표 1. 기존 제품과 소형화 개발장비의 크기와 소모전력

항 목	A Type		B Type	
	기존제품	CFR적용	기존제품	CFR적용
크기 [mm ³]	450×700 ×300	390×526 ×240	495×950 ×400	450×595 ×350
소모전력 [W]	180	100	900	600

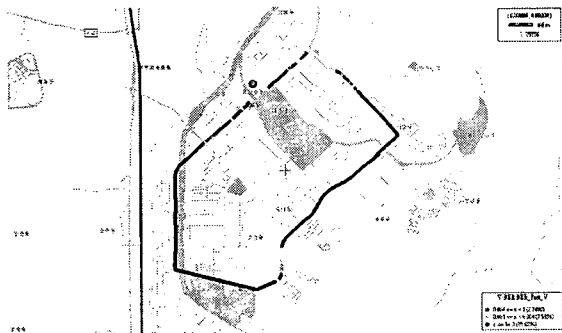


그림 9 CCDF 7.5dB의 CFR 적용 후 시험결과

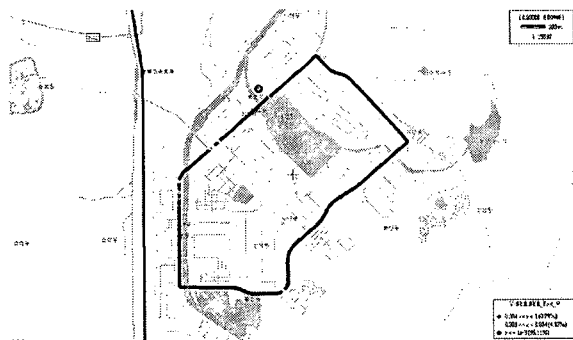


그림 10 CCDF 8.5dB의 CFR 적용 후 시험결과

[참 고 문 헌]

- [1] M. Solomou, C. Evans, D. Rees, "Crest factor minimization in the frequency domain", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 51, pp.859-869, Aug. 2002
- [2] T. F. Ho and V. K. Wei, "Synthesis of low-crest waveforms for multicarrier CDMA system," in Proc. GLOBECOM, 1995, pp. 131-135.
- [3] H. Ochiai and H. Imai, "OFDM-CDMA with peak power reduction based on the spreading sequences," in Proc. ICC, 1998, pp. 1299-1303.
- [4] O. Vaananen, J. Vankka, T. Viero, K. Halonen, "Reducing the crest factor of a CDMA downlink signal by adding unused channelization codes" IEEE Communications Letters, vol. 6, pp.443-445, Oct. 2002
- [5] A.G. Shanbhag, E.G. Tiedemann, "Peak-to-average reduction via optimal Walsh code allocation in third generation CDMA systems" 2000 IEEE Sixth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, vol. 2, pp. 560-564, Sept. 2000
- [6] ITU-R Recommendations BO. 1130.4, *Systems for digital satellite broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the bands allocated to BSS (sound) in the frequency range 1400-2700 MHz*, ITU-R, 2001
- [7] 이학용, 이홍배, 이영수, "위성 DMB System E용 Gap Filler 개발", 2004 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집, pp. 19-22