

# SFN 기반 지상파 3D HDTV의 환경 적응적 수신을 보장하기 위한 계층변조 기법

\*신동철 \*김재길 \*이제원 \*이성윤 \*안재민

충남대학교

\*dcshin@cnu.ac.kr, \*stone0517@cnu.ac.kr, \*jw\_lee@cnu.ac.kr, \*leesy@cnu.ac.kr,  
\*jmahn@cnu.ac.kr

## Hierarchical modulation scheme to assure environmental and adaptive receive of terrestrial 3D HDTV based on SFN

\*Shin, Dong-Chul \*Kim, Jae-Kil \*Lee, Je-Won \*Lee, Sung-Yoon \*Ahn, Jae-Min

Chungnam National University

### 요약

본 논문은 지상파 방송망 내 전계강도가 낮은 지역에 최소한의 데이터 전송률을 보장하기 위한 계층변조와 다중경로 채널 극복 및 수신 성능 향상을 위한 다중 안테나 수신기법을 SFN에 적용하여 제안하였다. 계층변조는 기존의 데이터 스트림에 부가적인 데이터 스트림을 삽입함에 따라 지상파 3D HDTV 방송 서비스는 더 많은 유효 전송률을 확보하고 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있었다. 그러나 기본 서비스의 품질을 유지하면서 부가적인 서비스의 품질을 보장하기 위한 대책이 필요하다. 그래서 송, 수신 안테나의 이득을 올리기 위해 다중 안테나 사용 방식을 채용하고, 그 수신 성능을 다중 안테나 위치에 따라 비교해 보았다. 그 결과, 수신 안테나가 한 쪽의 송신 안테나에 가까워질수록 실질적인 SNR이 증가하여 BER 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

최근 시청자가 3D 콘텐츠를 몰입하여 즐기도록 하는 차세대 실감 방송 기술이 보급되면서 지상파 기반의 3D HDTV 방송을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.[1]

SFN(Single Frequency Network)에서 3D HDTV 방송의 서비스 품질 향상을 위한 대표적인 방법으로는 다중 안테나 기법과 계층변조 기법이다.[2][3] 계층변조 기법은 기존의 데이터에 부가적인 데이터를 삽입함에 따라 지상파 3D HDTV 방송 서비스는 더 많은 유효 전송률을 확보하고 전계강도가 높은 지역에는 고품질 비디오 서비스를 제공한다. 또한 전계강도가 낮은 지역에는 최소한의 데이터 전송률을 보장하여 시청자의 QoS( Quality of Service)를 만족시킨다. 하지만 기존 데이터에 부가적인 데이터 서비스가 추가되면서 신호 점 최소거리가 좁혀지기 때문에 더 높은 오류(error rate)로 수신되어 이에 따른 부가적인 데이터 서비스의 품질을 보장하기 위한 대책이 필요하다. 이에 본 논문은 계층변조 기법과 송, 수신 다중안테나의 동일한 데이터를 전송하여 송, 수신 이득을 최대화시킬 수 있는 MRC(Maximum Ratio Combining) 기법을 적용한다. 또한 그 수신 성능을 다중 안테나 위치에 따라 비교하여 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 지상 3D HDTV 전송 ※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]

을 위한 SFN 구조와 SC-FDE 기반 프레임 구조에 관한 시스템 모델을 제시하고, 3 장에서는 계층변조 기법 및 MRC 기법을 제시한다. 4 장에서는 계층변조와 MRC가 적용된 시뮬레이션 성능을 확인한다. 마지막 장에서는 결론을 맺는다.

### 2. 시스템 모델

그림 1은 SC-FDE 기반 프레임 구조이다. 주파수 영역 등화기에 서 채널 추정과 동기화 관점에서 용이한 UW(Unique Word)를 사용하고, ISI(Inter-Symbol Interference) 성분을 제거하기 위하여 UW에 CP(Cyclic Prefix)를 붙이는 구조이다.

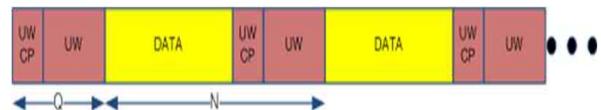


그림 1 SC-FDE 프레임 구조

그림 2는 주파수 이용 효율을 높이기 위해 SFN 구조가 적용된 다중 안테나 구조이다. 4개의 동일한 데이터를 전송하는 송신 안테나와 각각의 송신 데이터를 수신하는 4개의 수신 안테나 구조로 적용하였다. 송신 안테나와 수신 안테나의 기준거리는  $d$ , 이동한 수신 안테나 위치는  $d_s$ 이다.

표 1은 그림 2의 SFN구조에서 송신 안테나와 수신 안테나 위치에 따른 거리 비율을 나타낸다.

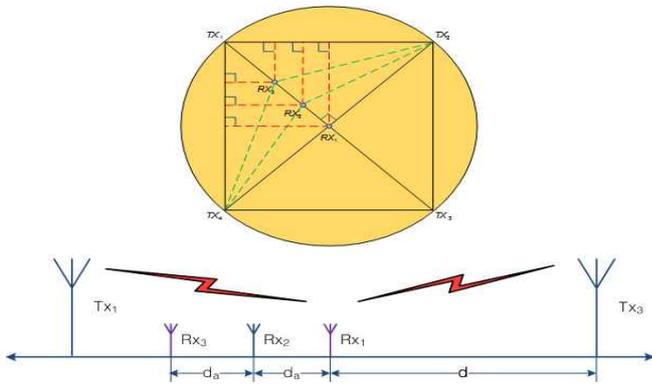


그림 2 SFN 구조

	$RX_1$	$RX_2$	$RX_3$
$TX_1$	$d$	$d - d_a$	$d - 2d_a$
$TX_2$	$d$	$\sqrt{\left(\frac{d-d_a}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{d+d_a}{\sqrt{2}}\right)^2}$	$\sqrt{\left(\frac{d-2d_a}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{d+2d_a}{\sqrt{2}}\right)^2}$
$TX_3$	$d$	$d + d_a$	$d + 2d_a$
$TX_4$	$d$	$\sqrt{\left(\frac{d-d_a}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{d+d_a}{\sqrt{2}}\right)^2}$	$\sqrt{\left(\frac{d-2d_a}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{d+2d_a}{\sqrt{2}}\right)^2}$

표 1 수신 안테나 위치에 따른 거리비율

### 3. 계층변조 기법 및 MRC

계층변조는 서로 다른 두 가지의 데이터 스트림을 하나의 데이터 스트림으로 변조한다. 기존 데이터 스트림을 HP(High Priority), 부가적인 데이터 스트림을 LP(Low Priority)로 정의한다. 본 논문에서는 HP 스트림을 ATSC 방식의 8VSB와 비슷한 성능을 낼 수 있는 64QAM 스트림으로 변조하고, LP 스트림을 QPSK로 변조한다. 결국 합쳐진 두 가지 데이터스트림은 비균일 256QAM 스트림으로 전송하게 되며 그림 3과 같이 나타낸다.

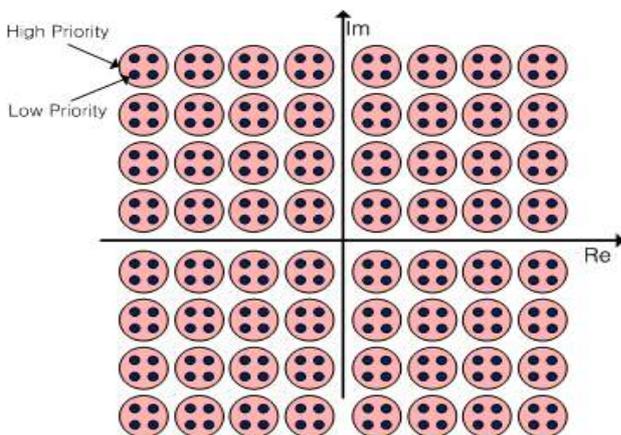


그림 3 비균일 256QAM 성상도

$p$ 를 HP 성상점간의 최소거리,  $q$ 를 LP 성상점간의 최소거리라고 정의하고, HP 심벌사이의 최소거리와 비균일 256QAM 심벌사이의 최

소거리의 비를  $\alpha$ 로 정의한다.

$$\alpha = \frac{p}{q} \tag{1}$$

$\alpha$ 의 변화에 따른 계층변조의 성상도를 구하기 위해 식 (2)~(3)으로 나타낸다.

$$p = \frac{\alpha}{\sqrt{42}(1+\alpha)} \tag{2}$$

$$q = \frac{1}{\sqrt{42}(1+\alpha)} \tag{3}$$

수신 신호  $y$ 는 다음과 같이 정의된다.  $h$ 는  $M_R \times M_T$  채널 매트릭스,  $x$ 는 송신신호,  $w$ 는 백색부가잡음 그리고  $M_R, M_T$ 는 송수신 안테나 개수이다.

$$y = \sqrt{\frac{E_s}{M_T}} hx + w \tag{4}$$

$$h = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,M_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,M_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_R,1} & h_{M_R,2} & \dots & h_{M_R,M_T} \end{bmatrix} \tag{5}$$

첫 번째 수신 신호를  $y_1$ 이라 할 때, 송신신호는 같은 신호로 전송되기 때문에 채널을  $h_1, h_2, \dots, h_{M_R}$  형태로 치환할 수 있다.

$$y_1(n) = \sqrt{\frac{E_{s,1}}{M_T}} \{h_{1,1}(n) + \dots + h_{M_R,1}(n)\} * x(n) + w_1(n) = h_1(n) * x(n) + w_1(n) \tag{6}$$

where,

$$h_1(n) = \sqrt{\frac{E_{s,1}}{M_T}} \{h_{1,1}(n) + \dots + h_{M_R,1}(n)\}$$

주파수 영역 등화기 관점에서 이를 주파수 영역으로 변환하여 채널을 보상 및 MRC 기법을 적용해야 한다.

$$\begin{cases} Y_1(k) = H_1(k)X(k) + W_1(k) \\ \vdots \\ Y_{M_R}(k) = H_{M_R}(k)X(k) + W_{M_R}(k) \end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{cases} \tilde{Y}_1 = H_1^*(k)Y_1(k) = |h_1(k)|^2 X(k) + H_1^*(k)W_1(k) \\ \vdots \\ \tilde{Y}_{M_R} = H_{M_R}^*(k)Y_{M_R}(k) = |h_{M_R}(k)|^2 X(k) + H_{M_R}^*(k)W_{M_R}(k) \end{cases} \tag{8}$$

$$\hat{X} = \frac{\tilde{Y}_1 + \dots + \tilde{Y}_{M_R}}{|H_1(k)|^2 + \dots + |H_{M_R}(k)|^2} \tag{9}$$

### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

안테나의 송신파위를 송신 안테나 개수에 따라 정규화를 했으며, 표 1을 통하여 경로 손실을 Log distance path loss 모델링을 하였다. 그리고 path loss exponent가 4일 때 브라질 채널 B에서 구현하였다. 또한 안테나 거리에 사용되는  $d, d_a$ 는 각각 30km, 6km이다. 마지막으로 64QAM 심벌사이의 최소거리와 비균일 256QAM 심벌사이의 최소거리 비를  $3\alpha$  값으로 적용하고, 채널 추정은 known 채널 값으로 적용하였다.

그림 4에서 BER성능을 보듯이 수신 안테나 중심에서 하나의 송신 안테나에 가까워질수록 약 4dB이상 성능이 향상되는 것을 확인할

수 있었다. 그리고 SNR 15dB 기준으로 채널코딩을 적용하고 수신 안테나가 송신 안테나에 가까워지면, 실질적인 SNR이 증가하여 비균일 256QAM으로 3D HDTV 전송을 위한 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있다. 또한, 전계강도가 낮은 지역에서는 64QAM으로 최소한의 데이터 전송률을 보장할 수 있다.

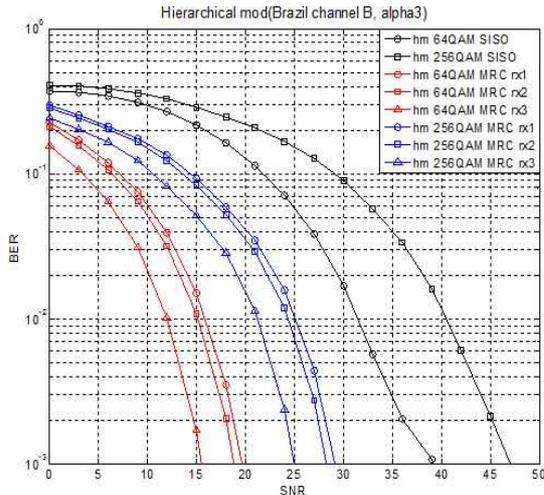


그림 4 BER 성능(Brazil channel B,  $3\alpha$ )

## 5. 결론

계층변조는 기존의 데이터에 추가적인 데이터를 삽입함에 따라 지상파 3D HDTV 방송 서비스는 더 많은 유효 전송률을 확보하고 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 추가적인 서비스의 품질을 보장하기 위해 본 논문은 계층변조와 다중 안테나를 이용한 MRC 기법을 적용하여 64QAM으로 최소 데이터 전송률을 보장하였다. 또한, 수신 안테나 중심에서 송신 안테나에 가까워지면 실질적인 SNR이 증가하여 비균일 256QAM으로 3D HDTV 전송을 위한 고품질 비디오 서비스를 보장하게 하였다.

## 참고 문헌

- [1] L. Onural, T. Sikora, J.Osterman, A.Smolic, M. R. Civalnlar, and J. D. Watson, "An assessment of 3DTV technologies", in *National Association of Broadcasters: Broadcast Engineering Conference*, pp.456-467. 2006
- [2] M. Kang and M.-S. Alouini, "Largest eigenvalue of complex Wishart matrices and performance of MIMO MRC systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 21, pp. 418 - -426, Apr. 2003.
- [3] Hong Jiang and Paul A. Wilford "A Hierarchical Modulation for Upgrading Digital Broadcast Systems", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol.151, n02, June 2005.