

SC-FDE 기반 3D-HDTV MISO SFN 지상파 방송을 위한 STBC 채널추정기법

*김재길 *신동철 *안재민

충남대학교

*stone0517@cnu.ac.kr *dcshin@cnu.ac.kr *jmahn@cnu.ac.kr

STBC Channel Estimation Scheme for SC-FDE based 3D-HDTV Terrestrial Broadcasting in MISO Single Frequency Network

*Kim, Jae-kil *Shin, Dong-chul *Ahn, Jaemin

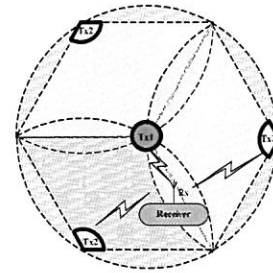
Chungnam National University

요 약

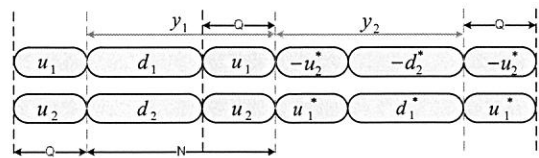
본 논문은 SC-FDE 기반 3D-HDTV 지상파 방송을 위한 MISO 구조의 SFN을 구성하고 STBC방식의 데이터 송신기법과 방송망 내 수신기의 위치에 따라 발생하는 두 개의 송신신호의 도달 시간의 차이를 극복하기 위한 채널추정기법을 제안한다. 모의실험을 통하여 브라질 채널에서 두 개의 송신신호의 차이에 따른 제안된 기법의 성능을 확인하였다.

1. 서론

최근 3D-HDTV 방송에 대한 관심이 높아지면서 지상파 기반의 3D-HDTV 방송을 위한 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 미국식 지상파 디지털 TV(ATSC)를 기반으로 3D-HDTV를 방송하기 위해서는 TOV 15dB에서 3.2bps/Hz에서 5bps/Hz의 채널용량을 높여야 한다. 또한 ATSC가 주파수 선택적 페이딩 채널에 취약한 특성이 있지만 제한된 방송 주파수의 이용 효율을 높이기 위해서는 SFN(Single Frequency Network)를 적용해야 한다. 이에 주파수 선택적 페이딩 채널에 강한 보호구간으로 UW(Unique Word)를 사용하는 SC-FDE의 적용을 고려할 수 있다. 본 논문에서는 STBC가 적용된 SC-FDE 기반의 ATSC 심벌구조를 적용하고, MISO SFN에서 수신기의 위치에 따라 서로 다른 두 송신신호의 도달 시간의 차이로 발생하는 ISI(Inter Symbol Interference)를 극복하기 위한 STBC(Space Time Block Coding) 채널 추정기법을 제안한다.



<그림 1> MISO Single Frequency Network 구조



<그림 2> STBC가 적용된 SC-FDE 심벌구조

2. 시스템 모델

그림 1은 셀 개념의 MISO SFN 구조로써 중앙의 주 안테나와 셀 외곽의 방향성 부 안테나로 구성되며, 주 안테나와 부 안테나는 STBC가 적용된 서로 다른 신호를 송신한다.

STBC가 적용된 SC-FDE 심벌 구조는 그림 2와 같으며 SC-FDE 송신신호를 시간영역에서 데이터와 UW로 나누어 정의하면 식(1)과 같다.

$$\begin{cases} x(n) = d(n), & n = 0, \dots, N - Q - 1 \\ x(N - Q + n) = u(n), & n = 0, \dots, Q - 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$x^*((-n)_N) = \begin{cases} x^*(0), & n = 0 \\ x^*(N - n), & n = 1, \dots, N - 1 \end{cases}$$

여기서 Q는 보호구간의 길이, N은 데이터와 보호구간을 포함하는

* 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [K1002058, 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]

SC-FDE 심벌의 길이, $(\cdot)_N$ 은 N-모듈로연산, $d(n)$ 은 데이터신호, $u(n)$ 은 UW신호이다.

각각의 송신신호가 채널을 통과하여 하나의 수신 안테나로 수신된 수신신호는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} y_1(n) &= h_1(n) * x_1(n) + h_2(n) * x_2(n) + w_1(n) \\ y_2(n) &= -h_1(n) * x_2^*((-n)_N) + h_2(n) * x_1^*((-n)_N) + w_2(n) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $h_i(t)$ 는 채널응답, $w(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 N_0 인 백색 부가잡음이다. 식(2)에 FFT를 적용하여 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} Y_1(k) \\ Y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(k) & X_2(k) \\ -X_2^*(k) & X_1^*(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1(k) \\ H_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1(k) \\ W_2(k) \end{bmatrix} \quad (3)$$

주파수 영역에서 식(3)의 1번째 행과 2번째 행의 켈레복소수와의 행렬식을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} Y_1(k) \\ Y_2^*(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1(k) & H_2(k) \\ H_2^*(k) & -H_1^*(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(k) \\ X_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1(k) \\ W_2^*(k) \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(3)으로부터 알고있는 송신신호를 이용하여 채널을 추정하고, 추

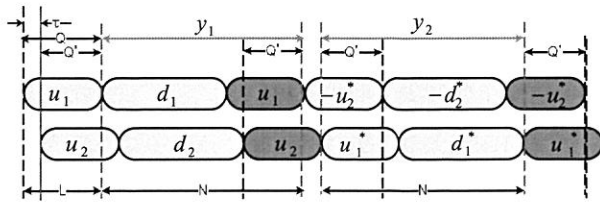


그림 3. 두 송신신호의 도달시간의 차이로 인한 ISI

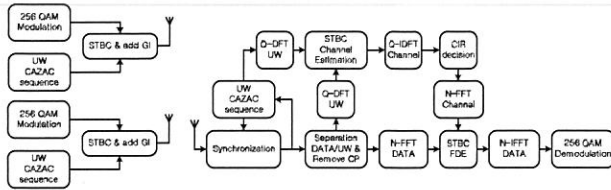


그림 4. STBC 채널추정기법이 적용된 SC-FDE 시스템 블록도

정된 채널을 식(4)에 대입하여 ZF(Zero forcing) 또는 MRC (Maximal ratio combining) 기법을 적용하여 수신신호를 보상할 수 있다.

3. 채널추정기법

식(2)와 같이 제안된 SC-FDE 심벌은 주파수영역에서 식(3)에서 보인바와 같이 STBC 채널추정기법을 적용할 수 있다. STBC는 서로 다른 두신호의 동기화가 매우 중요하다. 이에 제안된 MISO SFN에서 STBC 채널 추정 시 수신기의 위치에 따라 그림 3과 같이 두 송신신호들이 도달시간의 차이로 인하여 발생하는 ISI를 극복하기 위한 채널추정기법을 제안한다.

두 송신신호의 도달시간이 차이가 발생 할 때 수신신호를 식(2)와 같이 먼저 수신되는 신호를 기준으로 재모델링 하면 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 y_1(n) &= h_1(n) * x_1(n) + h_2(n) * x_2(n-\tau) + w_1(n) \\
 y_2(n) &= -h_1(n) * x_2^*((-n)_N) + h_2(n) * x_1^*((-n-\tau)_N) + w_2(n) \\
 (n &= 0, \dots, N-1)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

채널추정 시 그림 3과 같이 식(5)의 STBC SC-FDE심벌 내 데이터 심벌 뒤에 위치하는 UW를 사용한다. GI 내 UW 또한 STBC가 적용되어 있기 때문에 데이터부분과 별개로 식(3)을 적용할 수 있다. 그림 3 과 같이 τ 만큼 송신신호 도달시간이 차이가 발생하면, 늦게 도착한 신호를 기준으로 채널을 추정하기 위한 송신신호는 식(6-1)과 같이 정의 할 수 있으며 수신된 UW는 식(6-2)과 같이 시간 영역에서 표현할 수 있다.

$$\begin{cases}
 \tilde{u}_1(n) = u_1(n + \tau) \\
 \tilde{u}_2(n) = u_2(n)
 \end{cases}, n = 0, \dots, Q', Q' = Q - \tau
 \tag{6-1}$$

$$\begin{cases}
 y_{L1}(n) = h_1(n) * \tilde{u}_1(n) + h_2(n) * \tilde{u}_2(n) + w_1(n) \\
 y_{L2}(n) = -h_1(n) * \tilde{u}_2^*((-n)_N) + h_2(n) * \tilde{u}_1^*((-n)_N) + w_2(n)
 \end{cases}
 \tag{6-2}$$

식(6-2)을 식(3)에 적용하여 채널추정을 위해 주파수 영역에서 수신된 UW를 행렬식으로 정리하면 식(7)과 같다.

$$\begin{bmatrix} Y_{L1}(k) \\ Y_{L2}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{U}_1(k) & \tilde{U}_2(k) \\ -\tilde{U}_2^*(k) & \tilde{U}_1^*(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1(k) \\ H_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1(k) \\ W_2(k) \end{bmatrix}
 \tag{7}$$

수신된 UW 행렬은 STBC가 적용되었기 때문에 항상 정칙행렬이 되기 때문에 식(8)과 같이 채널을 추정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{H}_1(k) \\ \hat{H}_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{U}_1(k) & \tilde{U}_2(k) \\ -\tilde{U}_2^*(k) & \tilde{U}_1^*(k) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_{L1}(k) \\ Y_{L2}(k) \end{bmatrix}
 \tag{8}$$

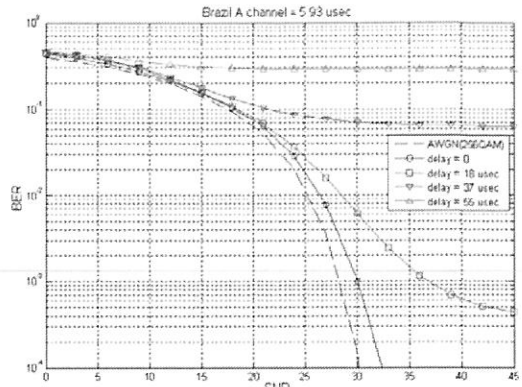


그림 5. 송신신호 도달시간 차이에 따른 BER 성능 비교

식(8)로부터 추정된 채널정보를 이용하여 식(9)와 같이 MRC (Maximal ratio combining) 기법을 적용하여 수신신호를 보상할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_1(k) \\ \hat{X}_2(k) \end{bmatrix} = \frac{1}{|\hat{H}_1(k)|^2 + |\hat{H}_2(k)|^2} \begin{bmatrix} \hat{H}_1(k) & \hat{H}_2(k) \\ \hat{H}_2^*(k) & -\hat{H}_1^*(k) \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} Y_1(k) \\ Y_2(k) \end{bmatrix}
 \tag{9}$$

제안된 기법은 두 신호의 도달시간차이 만큼 적은 샘플을 사용하여 채널추정을 하지만 도달시간차이로 발생하는 ISI를 극복할 수 있는 장점이 있다.

4. 모의실험

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해서 사용된 SC-FDE 심벌길이는 8K, 보호구간(Guard Interval)은 608, 샘플링 주기는 0.186 μ s, 변조방식은 256 QAM을 사용하고, Ricean 특성을 가지고 5.93 μ s길이의 브라질 A 채널을 사용하였다.

그림 5는 송신신호의 도달시간 차이에 따른 BER 성능을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과 도달시간의 차이가 커질수록 error flow가 상승하는 것을 보이고 있다. 이는 도달시간차이 만큼 채널추정에 사용되는 UW의 샘플이 줄어들게 되고 주파수 선택적 페이딩 채널의 영향으로 발생하는 UW cyclic property 붕괴되었기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 STBC가 적용된 SC-FDE 기반의 ATSC 심벌구조를 적용하고, MISO SFN에서 수신기의 위치에 따라 서로 다른 두 송신신호의 도달 시간의 차이로 발생하는 ISI(Inter Symbol Interference)를 극복하기 위한 STBC 채널추정기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과 UW의 Cyclic Property를 극복하기 위한 연구가 필요함을 알게 되었다. 본 논문은 3D-HDTV 지상파방송의 채널용량을 높이기 위한 MIMO SC-FDE를 적용연구에 기여할 것으로 예상된다.

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