순환 지연 다이버시티를 갖는 DRM+ 시스템에서 파일럿 집합 선택을 이용한 정수배 주파수 오차 추정 기법

정회원 권 기 원*, 종신회원 조 용 수 **

Integer Frequency Offset Estimation by Pilot Subset Selection for DRM+ Systems with CDD

Ki Won, Kwon* *Regular Member*, Yong Soo Cho** *LifeLong Member*

요 약

CDD(Cyclic Delay Diversity)는 다중 전송 안테나를 사용하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서 간단히 전송 다이버시티를 얻을 수 있는 기법이다. 그러나 CDD 안테나가 적용된 OFDM 시스템에서 형성되는 채널의 주파수 선택적 특성은 정수배 주파수 옵셋(Integer Frequency Offset)과 같은 FFT(Fast Fourier Transform) 이후의 동기화 기법들의 성능 감쇄를 발생시킨다. 본 논문은 CDD를 갖는 OFDM 기반의 DRM+ 시스템을 위한 향상된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 채널의 주파수 특성이 동일한 파일롯 부분 집합을 선택함으로써 CDD에 형성되는 채널의 주파수 선택적 특성에 의한 정수배 주파수 옵셋 추정의 열화 성능을 감소시킨다. 모의실험 결과를 통해 제안된 기법의 정수배 주파수 옵셋 추정 성능이 기존 기법에 비해 향상됨을 보인다.

Key Words : DRM+, CDD, IFO, Pilot partitioning

ABSTRACT

Cyclic delay diversity (CDD) is a simple transmit diversity technique for an OFDM system using multiple transmit antennas. However, the performance of post-FFT estimation, i.e., integer frequency offset (IFO) is deteriorated by high frequency selectivity introduced by CDD. In this paper, the IFO estimation scheme is proposed for OFDM-based DRM+ system with CDD. Based on the pilot subset partitioning, the proposed IFO estimation scheme reduces the effect of performance degradation caused by frequency selectivity in OFDM systems with CDD . The simulation results show that the performance of the proposed IFO estimator is significantly improved when compared to that of the conventional IFO estimator.

Ⅰ. 서 론

OFDM 기법은 다중경로 페이딩과 채널 임펄스 잡음과 같은 다양한 종류의 채널 장애를 효율적으로 극복할 수 있기 때문에 다양한 디지털 통신 시스템에 성공적으로 적용되고 있다. 이러한 장점으로 OFDM은 DAB(digital audio broadcasting), DRM+(digital radio mondiale plus), DVB(digital video broadcasting)와 같은 디지털 방송 시스템의 전송방식으로 널리 사용되고 있다[1-3]. 무선 통신 시스템에서 다이버시티 기법은 채널 페이딩을 경감시키고 신뢰성 있는 전송을 위해 사용된다. 다이버시티 기법중 하나인

※ 본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음(KCA-2011-09913-04002)
* 전자부품연구원 모바일단말연구센터 (kwonkw@keti.re.kr), ** 중앙대학교 디지털통신연구실 (yscho@cau.ac.kr)
논문번호 : KICS2011-05-209, 접수일자 : 2011년 5월 2일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 5일

CDD 기법은 시간축의 OFDM 심볼에서 신호 처리가 수행되기 때문에, 현재 상용화 완료된 방송 시스템의 물리 계층의 변화없이 적용할 수 있다는 장점이 있다. 다른 다이버시티 기법들과는 다르게 CDD 기법은 시간축에서 안테나마다 다른 순환지연을 적용하여 결과적으로 채널의 주파수 선택적 특성을 증대시킨다. 따라서 CDD는 다이버시티 이득으로 페이딩에 강해지는 특성을 갖는다[4-6]. CDD를 갖는 OFDM 시스템은 기존 OFDM 시스템의 장점을 보존시키면서 주파수 다이버시티를 획득할 수 있는 장점이 있다. 하지만 CDD 기법은 시간축에서 순환 지연된 전송 데이터가 FFT 연산으로 인해 주파수 축에서 위상 천이로 변환되기 때문에 FFT 이후에 수행되는 채널 추정과 정수배 주파수 옵셋 추정기의 심각한 성능 저하를 야기할 수 있다[7,8]. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로는 한 심볼내에서 인접 부반송파간의 상관 관계를 이용하는 기법이 있다. 이 경우 위상 천이는 채널 상태 정보(Channel State Information)에 의해 상쇄된다[9,10]. DRM과 DVB와 같은 디지털 방송 시스템들은 시간축에서 연속적인 파일럿이 존재하지 않기 때문에 한 심볼내에서 인접 부반송파간의 상관 관계를 이용하는 방식을 적용할 수 있다. 한 개의 OFDM 심볼만을 이용하여 정수배 주파수 옵셋을 추정하는 기존 알고리즘들은 수신된 프리엠블과 송/수신단에서 알고 있는 파일럿 톤 패턴의 스펙트럼을 비교하여 정수배 주파수 옵셋을 추정한다[11]. 하지만 기존의 동기화 기법들은 채널의 주파수 선택적인 특성에 대하여 다루지 않고 있으며, CDD가 적용 되었을 경우 시스템의 성능은 주파수 선택적 특성의 영향으로 인하여 크게 감소된다. 또한 CDD를 갖는 OFDM 시스템에서는 수신단에서 채널 전달 함수(Channel Transfer Function)의 주파수 선택적 특성이 증가하게 되어 시스템의 정수배 주파수 옵셋 추정기의 성능을 더욱 저하시킨다. 본 논문에서는 CDD 기법을 적용한 OFDM 기반의 DRM+ 시스템에서 파일럿 부분 집합 선택 기법을 이용한 정수배 주파수 옵셋 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 기법에서는 CDD에 의하여 발생되는 주파수 선택적 채널에서 주파수 특성이 동일한 파일롯 부분 집합의 선택을 통하여 채널의 주파수 선택적 특성에 강인한 정수배 주파수 옵셋 추정 기법을 설계한다. 모의실험 결과를 통해 제안된 기법의 정수배 주파수 옵셋 추정 성능이 기존 기법에 비해 향상됨을 보인다. 본 논문은 다음과 같이 구성 된다. II장에서는 CDD를 적용한 DRM+ 시스템 모델 및 전송구조를 기술하며, III장에서는 기존의 정수배 주파수 옵셋 추정기를 간략히 소개한다. IV장에서는 CDD를 적용한 DRM+ 시스템의 성능 향상을 위한 파일럿 부분 집합 선택 기반의 정수배 주파수 옵셋 추정 기법을 기술한다. V장에서 모의실험을 통해 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법의 성능을 제시한다.

II. CDD를 갖는 OFDM 시스템 모델 및 DRM+ 전송구조

본 논문에서는 N_T 개의 전송 안테나들과 한 개의 수신 안테나를 사용하는 다중입력 단일출력 채널을 고려한다. 각각의 전송 안테나에서 전송되는 신호는 동일한 OFDM 변조를 한 뒤 δ_t만큼의 순환 지연을 수행하여, 길이 N_g의 CP(Cyclic Prefix)가 더해진다. 이 때 t번째 안테나에 전송되는 l번째 OFDM 신호는 다음과 같이 보여진다.

$$x_{l,t}(n) = \frac{1}{N_T} x_l(n-\delta_t)_N, \quad t = 1,2,\cdots,N_T \tag{1}$$

그리고

$$x_l(n) = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} X_l(k) e^{j2\pi kn/N} \tag{2}$$

여기서 $X_l(k)$는 주파수축의 l번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 해당하는 데이터 신호, N은 FFT 크기, 그리고 $(\bullet)_N$은 N-모듈러 연산이다. 일반적으로 기존 연구에서는 $D_\delta = \delta_{t+1} - \delta_t = N/N_T$ $(t = 1,2,\cdots,N_T-1)$과 같이 안테나간 순환 지연값을 최대화할 수 있는 선택 방법을 사용하고 있으며, 첫 번째 안테나의 순환 지연값은 $\delta_1 = 0$으로 가정한다[4,6]. 위에서 기술된 전송신호가 채널을 통과한 후의 수신 신호는 다음과 같이 이루어진다.

$$g_l(n) = \sum_{t=1}^{N_T} h_{l,t}(n) \otimes x_{l,t}(n) \tag{3}$$

여기서 $h_{l,t}(n)$은 t번째 안테나의 페이딩 채널이며, $\otimes$는 콘볼루션 연산이다. 수신단에서 주파수 오차가 존재할 때 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_l(n) = g_l(n) e^{j2\pi\epsilon n/N} + w_l(n) \tag{4}$$

여기서 ϵ는 부반송파 간격으로 정규화된 반송파 주파수 오차, 그리고 $w_l(n)$은 백색잡음(Additive White Gaussian Noise)으로 나타내다. 일반적으로 반송파 주파수 오차는 부반송파 간격보다 크기 때문에 ϵ는 정수배 주파수 옵셋 ϵ_i와 소수배 주파수 옵셋 ϵ_f로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 정수 주파수 옵셋을 추정하기 전에 소수배 주파수 옵셋은 완벽하게 추정되고 보상되었다고 가정한다. 이때 수신된 l번째 OFDM 신호의 주파수축 신호는 다음과 같다.

$$Y_l(k) = H_l(k-\epsilon_i)X_l(k-\epsilon_i) + W_l(k) \tag{5}$$

그리고

$$H_l(k) = \frac{1}{\sqrt{N_T}} \sum_{t=1}^{N_T} H_{l,t}(k) e^{-j2\pi k\delta_t/N} \tag{6}$$

여기서 $W_l(k)$는 AWGN, $H_l(k)$는 CDD가 적용된 등가 채널 전송 함수, 그리고 $H_{l,t}(k)$는 t번째 안테나의 채널 주파수 응답이다. OFDM 기반의 DRM 시스템은 주파수 특성상, 지상파 또는 상층파 전송에 따라 다양한 환경에 효과적으로 대응하기 위해 5가지 전송 모드를 정의하였으며, 그 중 모드 E에 해당하는 것이 DRM+ 이다. DRM+ OFDM 심볼 파라미터는 표 1과 같다. DRM+에서는 동기 및 채널추정과 같은 작업을 수행하기 위해 파일럿 셀을 정의한다. 그림 1은 3가지 종류의 파일럿 셀을 보여준다.

표 1. DRM+ OFDM 심볼파라미터

항목 \ 모드	A	B	C	D	E
T (μs)	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$
유효심볼 길이(ms)	24	$21^{1/3}$	$14^{2/3}$	$9^{1/3}$	$2^{1/4}$
보호구간 길이(ms)	$2^{2/3}$	$5^{1/3}$	$5^{1/3}$	$7^{1/3}$	$0^{1/4}$
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

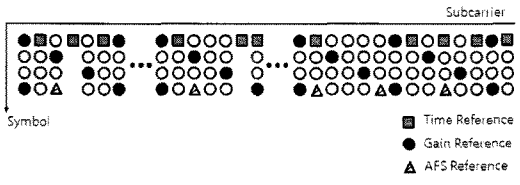

그림 1. DRM+ 파일럿 셀들의 구조

각각의 파일럿 셀들은 다음과 같다. 시간 참조셀(Time Reference Cell)은 매 전송 프레임의 첫번째 OFDM 심볼에만 존재하며 주파수 동기와 프레임 동기를 수행하는데 사용된다. 이득 참조셀(Gain Reference Cell)은 매 OFDM 심볼에 분산되어 존재하며 채널 추정에 사용된다. AFS셀은 첫 번째 전송프레임의 5번째 OFDM 심볼과 4번째 전송프레임의 40번째 OFDM 심볼에 존재한다. 모든 참조셀은 $\sqrt{2}$의 계수를 가지며, 맨 가장자리에 있는 이득 참조셀은 2의 계수를 갖는다.

Ⅲ. 기존의 정수배 주파수 옵셋 추정 기법

DRM+와 같이 불규칙적인 파일럿을 사용하여 정수배 주파수 옵셋을 추정할 경우의 OFDM 시스템은 CDD로 인한 위상 천이 현상으로 인해 정수배 주파수 옵셋 추정에 심각한 문제가 생긴다. 본 논문에서는 다음과 같은 한 개의 OFDM 심볼을 이용하는 정수배 주파수 옵셋 추정 기법을 고려한다[11].

$$\hat{\epsilon}_i = \underset{|m| \le M}{\arg\max} \left| \sum_{k \in S_P} Y_l(k+m) P_l^*(k) \right| \tag{7}$$

여기에서 m은 ϵ_i의 실험 값, $P_l(k)$는 수신단에서 알고 있는 파일럿, M은 송신기와 수신기 사이의 주파수 차이에 따른 최대 정수배 주파수 오차, 그리고 S_P는 파일럿 부반송파 인덱스의 집합이다. CDD로 인한 주파수 선택적 채널의 영향을 설명하기 위하여 $P_l(k)$와 $Y_l(k)$가 $m=\epsilon_i$일 때의 동위상 상관도를 정의하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C &= \left| \sum_{k \in S_P} Y_l(k+m) P_l^*(k) \right|_{m=\epsilon_i} \\ &= \left| \sum_{k \in S_P} H_l(k) |P_l(k)|^2 + \sum_{k \in S_P} W_l(k) P_l^*(k) \right| \end{aligned} \tag{9}$$

여기에서 $|P_l(k)|^2 = 1$이다. 상기 수식 (9)에서 볼 수 있듯이 파일롯 부반송파 위치에서의 채널 전송 함수의 주파수 선택적 특성이 커지게 되면, $m=\epsilon_i$일 때의 상관 에너지 값이 작아질 수 있다. 따라서 기존 정

수배 주파수 옵셋 추정 기법의 경우는 정확한 정수배 주파수 옵셋 추정 위치에서도 오차 확률이 커지는 단점이 존재한다. 다음 장에서 CDD를 적용한 OFDM 기반의 DRM+ 시스템에서 발생할 수 있는 이러한 문제점을 해결하기 위한 정수배 주파수 옵셋 추정 기법을 제안한다.

Ⅳ. 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법

4.1 파일롯 집합 선택 기법

제안된 파일롯 집합 선택 기법에서는 N_p개의 파일롯으로 구성된 전체 파일롯 집합 S_p를 동일한 채널 주파수 특성을 가지는 파일롯 부반송파들로 구성된 여러 개의 부집합으로 나누게 된다. 첫 번째 안테나의 순환 지연값은 $\delta_1 = 0$으로 가정하면, 각 안테나의 순환 지연값은 $\delta_t = (t-1)D_\delta \, (t = 1,2,\cdots,N_T)$로 정의할 수 있다. 그림 2는 파일롯 집합 선택 과정을 도시한 것이다. 그림에서 S_i는 i번째 파일롯 부집합을 의미한다. 이 과정은 모든 가능한 순환 지연값 $0 \le D_\delta \le N-1$에 대하여 그림 1의 과정을 수행한다.

기본 개념은 아래의 식과 같이 파일롯 부반송파간의 인덱스 차이 $k-k_{g_i}$ $(k \in S_p)$가 CDD에 의해서 발생된 주파수 채널 응답 $|H_i(k)|$에 따른 주기 N/D_δ의 정수배가 되는 파일롯 부반송파들을 하나의 부집합으로 구성하는 것이다.

$$\frac{k-k_{g_i}}{N/D_\delta} = n \;\; (k \in S_p, n = 1,2,3,\cdots) \tag{10}$$

여기서 k_{g_i}는 i번째 파일롯 부집합의 첫 번째 부반송파을 의미한다. 이 과정을 통해 선택한 임의의 파일롯 부집합에 해당되는 부반송파 위치에서의 주파수 채널 응답 $|H_i(k)|$은 동일한 주파수 선택적인 특성을 가지게 된다. 모든 가능한 순환 지연값 $0 \le D_\delta \le N-1$에 그림 1의 과정을 DRM+ 시스템에서 정수배 주파수 옵셋 추정에 사용되는 파일롯 심볼[2]에 대하여 수행한 결과, $D_\delta = 71$일 때 식 (10)을 만족하는 3개의 파일롯 부집합이 존재함을 얻을 수 있다.

표 2는 $D_\delta = 71$일 때 얻어진 3개의 파일롯 부집합을 나타내며, 그림 3은 CDD 주기가 71인 경우, 제안된 선택기법에 의한 부집합들의 파일롯 위치를 나타낸다.

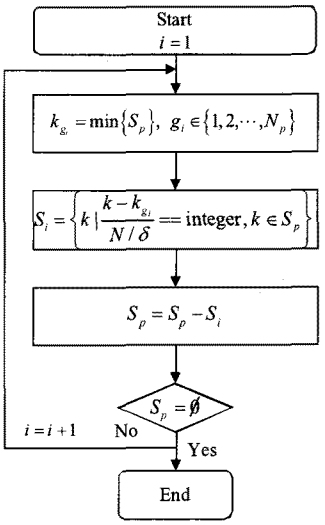

그림 2. 제안된 파일롯 부집합 선택 기법

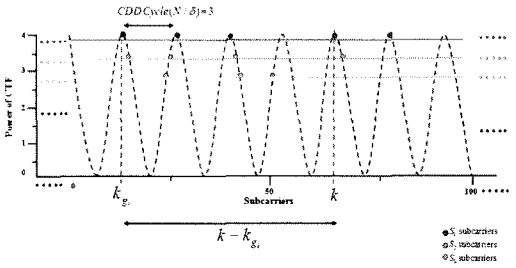

그림 3. CDD 주기와 파일롯 부반송파 차이에 따른 파일롯 부집합 예시($D_\delta = 71$인 경우)

표 2. DRM+ 시스템에서 선택된 파일롯 부집합

S_i	부반송파 k
$i=1$	-80 -77 -53 -32 13 22 40 67 79
$i=2$	-79 -52 -31 14 23 41 68 80
$i=3$	-51 12 21 42

4.2 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 알고리즘

CDD로 인한 채널의 주파수 선택적 영향에 따른 정수배 주파수 옵셋 추정 성능의 열화를 감소시키기 위하여 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 알고리즘은 앞절에서 파일롯 집합 선택 기법에 의해 선택된 파일롯 부집합을 이용한다. 제안된 기법은 각각의 파일롯 부집합에 대하여 독립적인 추정 과정을 거친 후에 상관 에너지를 더하는 형태로 다음과 같이 설계된다.

여기서 I는 파일롯 부집합의 수를 나타낸다. 위의 식에서 $k \in S_i$에 해당되는 채널 응답은 파일롯 선택 기법에 의해서 모두 동일한 주파수 특성을 가짐을 알 수 있다. 따라서 식 (11)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\hat{\epsilon}_i = \underset{|m| \le M}{\arg\max} \left\{ \sum_{i=1}^{I} \left| \sum_{k \in S_i} Y_l(k+m) P_l^*(k) \right| \right\}$$
$$= \underset{|m| \le M}{\arg\max} \left\{ \sum_{i=1}^{I} \left| \sum_{k \in S_i} H_l(k-\epsilon_i+m) X_l(k-\epsilon_i+m) P_l^*(k) + \sum_{k \in Si} W_l(k+m) P_l^*(k) \right| \right\} \quad (11)$$

$$\hat{\epsilon}_i = \underset{|m| \le M}{\arg\max} \left\{ \sum_{i=1}^{I} \left| H_l(k_{g_i}-\epsilon_i+m) \sum_{k \in S_i} X_l(k-\epsilon_i+m) P_l^*(k) + \sum_{k \in S_i} W_l(k+m) P_l^*(k) \right| \right\} \quad (12)$$

여기서 $H_l(k_{g_i})$은 m번째 파일롯 부집합 위치에 해당하는 채널의 주파수 응답을 의미한다. 이러한 특성을 이용하면 $m=\epsilon_i$인 경우에 $X_l(k-m+\epsilon_i) = P_l(k)$가 되며 식 (12)에서 상관 에너지는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C = \sum_{i=1}^{I} \left| H_l(k_{g_i}) \sum_{k \in S_i} P_l(k) P_l^*(k) + \sum_{k \in S_i} W_l(k) P_l^*(k) \right| \quad (13)$$

여기서 $P_l(k)P_l^*(k)=1$이고, 잡음에 영향을 무시하면 식 (13)은 다음과 같이 근사화 된다.

$$C \approx \sum_{i=1}^{I} \left| H_l(k_{g_i}) \right| \quad (14)$$

수식 (14)에서 알 수 있듯이 파일롯 부반송파 위치에서의 채널 전송 함수의 주파수 선택적 특성이 커지더라도 상관 에너지는 선택된 파일롯 부집합의 절대값들의 합이므로 항상 큰 값이 될 수 있다. 따라서 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법은 파일롯 집합 선택 기법으로 선택된 파일롯 부집합 S_i을 이용함으로써 CDD로 인한 채널의 주파수 선택적 영향에 따른 정수배 주파수 옵셋 추정 성능의 열화를 감소시킴으로 기존 기법에 비해 안정적인 추정 성능을 가지게 된다.

표 3은 기존 기법과 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 방식의 연산량을 덧셈, 곱셈 및 절대값 연산의 관점에서 비교한 것이다. 복소 곱셈의 경우 식 (7)의 기존 방식과 식 (11)의 제안 방식의 경우가 동일한 복잡도를 가진다. 한 개의 복소 덧셈이 두 개의 실수 덧셈 연산으로 구현되므로, 제안방식의 복소 덧셈 연산수는 $(2M+1)(N_p-N_s/2-1/2)$으로 계산된다. 따라서 복소 덧셈 연산 관점에서는 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법의 복잡도가 가장 낮음을 알 수 있다. 반면에 절대값 연산의 경우 제안된 방식의 기존의 기법에 비해 N_s배의 연산이 요구됨을 보인다.

표 3. 기존 방식 및 제안된 방식의 연산량 비교

알고리즘	기존 방식 식 (7)	제안 방식 식 (11)
복소 곱셈	$(2M+1)N_p$	$(2M+1)N_p$
복소 덧셈	$(2M+1)(N_p-1)$	$(2M+1)(N_p-\frac{N_s}{2}-\frac{1}{2})$
절대값	$2M+1$	$(2M+1)N_s$

V. 모의실험

본 절에서는 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법의 성능을 CDD 기반의 DRM+ 시스템에서 기존의 정수배 주파수 옵셋 기법을 비교하여 분석한다. OFDM 시스템 변수는 DRM+ 표준에 따라 $N=213$, $N_g=24$, $N_p=21$, 그리고 대역폭은 96 kHz를 적용하였다[2]. 성능평가는 표 4에 정의된 4개의 채널 모델[2,12]에 대하여 정수배 주파수 옵셋 추정 실패 확률 $\Pr\{\hat{\epsilon}_i \neq \epsilon_i\}$의 관점에서 수행하였다. 그림 4와 5는 표 3에 기술된 4개의 채널 모델 환경에서 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정기의 성능을 $N_T=2$를 사용하는 DRM+ 시스템에서 도시한 것이다. 그림에서 각 안테나의 순환 지연값은 파일롯 집합 선택 기법을 통해 얻어진 $D_\delta=71$과 $\delta_t=(t-1)D_\delta$ $(t=1,2)$를 이용하여 $\delta_1=0$과 $\delta_2=71$을 사용한다. 그림 4에서 알 수 있듯이 채널 모델 1과 2와 같이 제안된 기법이 CDD로 인한 채널의 주파수 선택적 영향에 따른 정수배 주파수 옵셋 추정의 영향을 줄일 수 있도록 파일롯 부집합을 선택함으로 인해 기존 기법에 비해 향상된 정수배 주파수 옵셋 추정 성능을 보인다. 채널 모델 3과 4와 같이 주파수 선택적 특성이 커지게 되면 두가지 기법 모두 정수배 주파수 옵셋 추정 성능이 저하됨을 보이지만, 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법이 여전히

표 4. DRM+ 채널 모델

	채널 모델	이동속도 (km/h)	다중 경로수	최대채널 지연(μs)
1	Urban	60	9	3.0
2	Rural	150	9	3.0
3	Terrain obstructed	60	9	16.0
4	Hilly Terrain	100	12	84.5

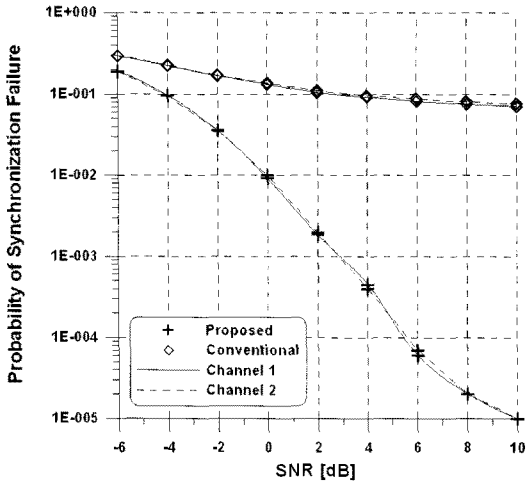

그림 4. 기존 및 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법 성능 (채널 모델 1과 2, $N_T=2$)

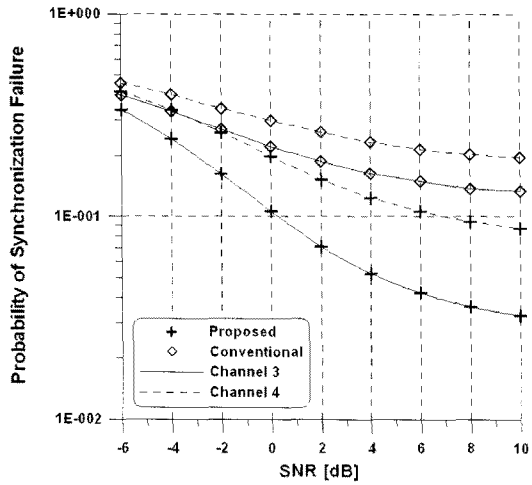

그림 5. 기존 및 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법 성능 (채널 모델 3과 4, $N_T=2$)

우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 6은 채널 모델 1과 2에서 $N_T=3$를 사용하는 DRM+ 시스템에서 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정기의 성능을 도시한 것이다. 그림에서 각 안테나의 순환 지연값은 $\delta_t=(t-1)D_\delta\ (t=1,2,3)$에 따라 $\delta_1=0$, $\delta_2=71$ 및 $\delta_3=142$을 사용한다. 그림 4와 마찬가지로 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법이 기존 기법에 비해 안정적인 추정 성능을 보이며, 안테나 수가 증가함에 따라 약간의 성능 저하가 발생함을 보인다. 이는 상관에너지를 구하는 과정에서 안테나별 채널 $\{H_{l,t}(k)\}$ 간의 상호 상관성분이 안테나 수에 따라 증가하기 때문이다.

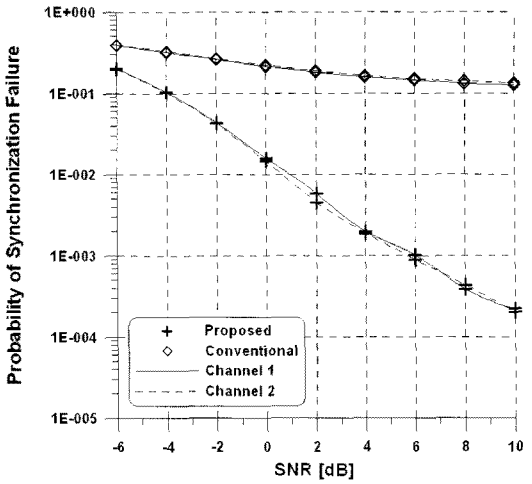

그림 6. 기존 및 제안된 정수배 주파수 옵셋 추정 기법 성능 (채널 모델 1과 2, $N_T=3$)

VI. 결 론

본 논문에서는 DRM+ 시스템에 CDD를 적용하여 주파수 선택적 특성이 증가함으로 발생되는 정수배 주파수 옵셋 추정 열화 성능을 향상시키는 기법을 제안하였다. 이를 위해 정수배 주파수 옵셋 추정에 사용된 파일롯 집합을 동일한 채널 주파수 특성을 가지는 파일롯 부반송파들로 구성된 여러 개의 부집합을 나누어 독립적인 추정을 수행하는 정수배 주파수 옵셋 기법을 설계하였다. 모의실험을 통해 CDD가 적용되기 전 전송채널의 비선택적 특성이 클 경우, CDD가 적용된 DRM+ 시스템의 정수배 주파수 옵셋 추정의 성능 향상이 크며, CDD가 적용되기 전 전송채널이 선택적일 경우, CDD가 적용된 DRM+ 정수배 주파수 옵셋 추정 성능향상은 비선택적 특성일 경우 보다 크지 않음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] ETSI ETS 300 401, Digital audio broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, Feb. 1995.

[2] ETSI ES 201980 V3.1.1, Digital radio mondiale (DRM); system specification, Aug. 2009.

[3] ETSI, ETS 300 744, Digital video broadcasting (DVB): Frame structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T), Mar. 1997.

[4] Y. Zhang, J. Cosmas, M. Bard, and Y. H. Song, "Diversity gain for DVB-H by using transmitter/receiver cyclic delay diversity," IEEE Trans. Broad., Vol.52, No.4, pp.464-474, Dec. 2006.

[5] B. Allen, F. Said, G. Bauch, G. Auer, and A. H Aghvami, "Spectrally efficient transmit diversity scheme for differentially modulated multicarrier transmissions," IEEE Commun., Vol.152, No.4, pp.457-462, Aug. 2005.

[6] G. Bauch and J. S. Malik, "Orthogonal frequency division multiple access with cyclic delay diversity," Proc. ITG Workshop on Smart Antennas, pp.17-24, Mar. 2004.

[7] A. Auer, "Channel estimation for OFDM with cyclic delay diversity," Proc. IEEE PIMRC, pp. 1792-1796. Sep. 2004.

[8] J. Lei and T. S. Ng, "A consistent OFDM carrier frequency offset estimator based on distinctively spaced pilot tones," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol.3, No.2, pp.588-599, Mar. 2004.

[9] J. W. Lee, H. L. Lou, and D. Toumpakaris, "Approximate maximum likelihood estimation of integer carrier frequency offset in OFDM systems," Proc. ICC, pp.2543-2547, May 2005.

[10] M. Morelli, A. N. Andrea, and U. Mengali, "Frequency ambiguity resolution in OFDM systems," IEEE Commun. Lett., Vol.4, No.4, pp.134-136, Jul. 2000.

[11] H. Nogami and T. Nagashima, "A frequency and timing period acquisition technique for OFDM systems," Proc. IEEE PIMRC, pp. 1010-1015, Sep. 1995.

[12] Petition for rulemaking to the United States Federal Communications Commission for In-Band On-Channel Digital Audio Broadcasting, USADR, Oct. 1998.

권 기 원 (Kwon Ki Won) 정회원

1997년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과(학사)
1999년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과(석사)
2011년 8월 중앙대학교 전자전기공학부 박사
1999년 2월~현재 전자부품연구원 책임연구원

<관심분야> 디지털통신, OFDM 모뎀 설계, 방송통신융합시스템

조 용 수 (Yong Soo Cho) 종신회원

1984년 2월 중앙대학교 전자공학과(학사)
1987년 2월 연세대학교 전자공학과(석사)
1991년 2월 The University of Texas at Austin 공학박사
1992년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
2003년 8월~2007년 12월 TTA 휴대인터넷(와이브로) 프로젝트 그룹 무선접속 실무반 의장

<관심분야> 디지털통신, MIMO-OFDM 모뎀 알고리듬 개발 및 구현