

보호구간이 없는 OFDM 시스템을 위한 성능 향상 기법

준회원 김성훈*, 중신회원 박중후*, 최진규**

Performance Improvement Technique for an OFDM System without Guard Interval

Sung-Hoon Kim* Associate Member, Joong-Hoo Park*, Gin-Kyu Choi** Regular Members

요약

이동 통신 시스템이 발전함에 따라서 점점 더 대용량의 고속 데이터 전송을 할 수 있는 시스템이 필요하게 되었다. 이러한 시스템으로 주목을 받는 것이 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템이다. 그러나 OFDM 시스템에서는 ISI (Inter-Symbol Interference)의 영향을 줄이기 위해 보호구간 (Guard Interval)을 삽입하기 때문에 데이터 전송률과 대역폭 효율이 떨어지는 단점이 있다. 본 논문에서는 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능을 향상시키는 기법을 제안한다. 우선 다중 경로 채널 환경에서 다중 경로 신호를 추정하여 수신된 신호에서 제거함으로써 간섭을 줄일 수 있는 PIC (Parallel Interference Cancellation) 기법에 대해서 살펴본다. 또한 인접 심볼 때문에 생기는 간섭성분에 대한 Cross-Correlation 행렬을 구하고 그것의 역행렬을 이용하여 전송된 신호를 추정하는 Pseudo-Decorrelator 방법을 사용한 성능 향상 기법을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 실시하여 제안된 시스템의 성능을 평가하고, 보호구간이 없는 OFDM 시스템과 PIC 기법을 적용한 시스템의 성능과 비교한다.

Key Words : OFDM, Guard Interval, Pseudo-Decorrelator

ABSTRACT

An OFDM system may be a good candidate for a next-generation wireless communication system which requires high-speed and high-rate data transmission. In OFDM systems, guard intervals are inserted to mitigate the effects of ISI (Inter-Symbol Interference). But guard interval insertion degrades the system performance from the standpoint of data rate and bandwidth efficiency. In this paper, a new method to improve the performance of an OFDM system without guard interval. First, PIC (Parallel Interference Cancellation) scheme which can reduce ISI by subtracting the estimated multi-path components from the received signal will be considered. And the proposed system with Pseudo-Decorrelator estimates transmitted signals by using the inverse matrix of cross-correlation matrix relating to interference components. The performance of the proposed system is evaluated through computer simulations and compared with that of the PIC system and an OFDM system without guard interval.

I. 서론

현재의 이동 통신 시스템에서는 동영상 및 무선

인터넷 전송과 같은 대용량의 고속 데이터 전송이 요구되고 있는데, 이와 같은 서비스를 제공하기 위해서는 전송 효율이 높은 전송 방식이 요구된다

* 한양대학교 대학원 전자전기제어계측과 이동통신시스템 연구실(jhpark1@hanyang.ac.kr)

** 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 전자공학 전공

논문번호 : KICS2004-10-225, 접수일자 : 2004년 10월 12일

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 단일 반송파를 이용한 전송 방식과는 달리 상호 직교성을 갖는 다수의 부반송파를 이용하여 데이터를 전송하는 방식으로서 고속 전송률을 갖는 데이터열을 낮은 전송률을 갖는 많은 수의 데이터열로 나누고 이들을 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 방법을 통해 고속의 데이터를 전송할 수 있다. OFDM 시스템에서의 데이터 전송은 각 부반송파에 의해 변조된 신호들이 더해진 OFDM 심볼 단위로 행해지며, 이 심볼들은 다중 경로 채널을 통과하면서 이전 심볼의 영향을 받으므로 ISI(Inter-Symbol Interference)와 ICI(Inter-Channel Interference)가 발생한다. OFDM 시스템에서는 ISI를 방지하기 위하여 채널의 최대지연확산보다 긴 보호구간(Guard Interval)을 두고 있다. 이렇게 해서 ISI를 줄이고 시스템 성능을 향상시킬 수 있지만, 데이터 전송률과 전송 전력 효율 그리고 대역폭 효율이 떨어지는 단점이 있다^{[1],[2]}. 따라서 보호구간이 없는 OFDM 시스템에 대한 연구가 최근 주목을 받고 있다.

보호구간이 없는 OFDM 시스템에서 성능을 향상시키기 위한 방법으로는 시간축 등화기(Time-Domain Equalizer)와 주파수축 등화기(Frequency-Domain Equalizer)를 이용한 방법과 MMSE(Minimum Mean-Square Error) 방법 등이 제시되고 있다^{[3]-[5]}. 등화기를 이용하는 방법은 구조는 간단하나 성능 향상 효과가 크지 않다. MMSE 방법은 좋은 성능을 보여주지만, 구조가 복잡하고 계산량이 많다는 단점이 있다. 본 논문에서는 우선 PIC(Parallel Interference Cancellation) 기법^[6]을 적용하여 각 채널 경로를 통과하는 신호들을 추정하고 그 신호들을 수신기의 수신 신호에서 제거하여 다중 경로 채널 환경에서 발생하는 간섭을 줄이는 방법을 고찰하고자 한다. 또한 [7]에 제시된 Pseudo-Decorrelator를 이용하여 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능을 제고하는 기법을 제안한다. 제안된 방법은 인접 심볼 때문에 생기는 간섭성분에 대한 Cross-Correlation 행렬을 계산하고, Generalized Inverse 기법^[8]을 사용하여 역행렬을 구하여 수신된 신호에 적용한다. 이와 같은 방법을 통해서 간섭성분을 줄이고 보다 정확하게 전송 신호를 추정할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어서 2장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 보호구간이 없는 OFDM 시스템 모델을 설명한다. 3장에서는 PIC 기법을 사용한 성능 향상 방법에 대해서 설명

하고, 4장에서는 Pseudo-Decorrelator를 이용한 성능 향상 기법을 제안한다. 5장에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 Pseudo-Decorrelator를 적용한 시스템의 성능을 PIC 기법을 적용한 시스템의 성능과 보호구간이 없는 시스템의 성능과 비교한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

II. 보호구간이 없는 OFDM 시스템 모델

본 논문에서 사용된 송신기의 블록도는 그림 1과 같다. 우선 송신기로는 0과 1로 구성된 이진데이터가 들어온다. 입력 데이터는 부반송파의 수만큼 직렬/병렬 변환되고, QPSK 방식을 통해서 변조된다. 이렇게 변조된 신호인 $X_k(n)$ 는 k 번째 부반송파로 전송되는 n 번째 OFDM 심볼을 나타낸다. 다음은 IDFT 과정을 거치게 되는데, 이것은 데이터를 부반송파에 실어주는 과정이다. 부반송파의 수를 N 이라고 하면, 변조된 신호 $x_n(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x_n(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k(n) g_k(t - nT_s) \quad (1)$$

여기서 T_s 는 OFDM 심볼 간격을 나타내고, $g_k(t)$ 는 k 번째 부반송파 신호를 나타내며 (2)식과 같이 표현된다.

$$g_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi k \Delta f t}, & 0 < t < T_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

일반적인 OFDM 시스템에서는 IDFT 과정을 거친 후에 보호구간을 삽입하지만, 본 논문에서는 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능을 분석하고자 하므로 보호구간은 삽입하지 않는다.

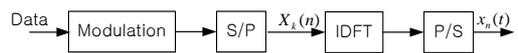


그림 1. 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 송신기 블록도

송신기에서 발생하는 신호는 다중 경로 페이딩 채널을 통과한다. 사용된 채널 모델은 Jake's Model^[9]이고, (3)식과 같이 표현되는 L 개의 경로를 가지는 레일리 페이딩 채널이다.

$$h_n(t) = \sum_{i=0}^{L-1} h_i \delta(t - \tau_i) \quad (3)$$

여기서 h_i 는 i 번째 경로의 진폭과 위상값을 포함한 채널값이고, τ_i 는 i 번째 경로에서의 시간 지연이다. 채널을 통과한 신호는 백색 가우시안 잡음 이 더해져서 다음과 같은 신호가 수신기로 수신된다

$$r_n(t) = \sum_{i=0}^{L-1} h_i x_n(t - \tau_i) + n(t) \\ = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{N-1} h_i X_k(n) g_k(t - nT_s - \tau_i) + n(t) \quad (4)$$

수신기에서 수신된 신호 $r_n(t)$ 는 그림 2와 같이 직렬/병렬 변환을 통해 병렬 신호로 바꾸고, DFT (Discrete Fourier Transform) 과정을 거치게 된다. 이것은 부반송파들을 사용하여 전송된 신호들을 복조하는 과정으로, 다음 식과 같이 표현할 수 있다

$$Z_k(n) = \frac{\sqrt{N}}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} r_n(t) g_k^*(t - nT_s) dt \quad (5)$$

이 신호를 이용하여 채널 추정을 한 후 채널 보상을 하고 송신기에서 보내진 신호를 복원한다. 일반적으로 채널 추정은 파일럿 심볼을 이용하여 행해지지만, 본 논문에서는 채널 추정이 완벽하게 이루어졌다고 가정한다. 이렇게 해서 얻어진 복원값은 $\hat{X}_k(n)$ 으로 나타낸다. 만일 채널 추정이 완벽하지 않다면 성능 열화 현상이 생긴다.

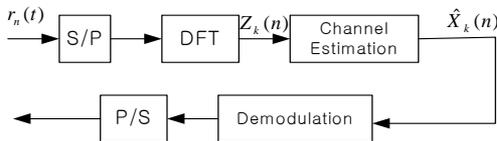


그림 2. 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 수신기 블록도

III. PIC 기법을 적용한 보호구간이 없는 OFDM 시스템

PIC 기법을 적용한 수신기 구조는 그림 3과 같다. 편의상 다중 경로에서의 시간 지연은 $\tau_0 < \tau_1 < \tau_2 \dots < \tau_{L-1}$ 이라고 가정한다. 수신된 신호 $r_n(t)$ 에 DFT 과정과 채널 추정 과정을 적용하면 송신기에서 보내진 신호를 추정할 수 있고 이 신호를 사용하여 각 경로의 신호들을 추정한다.

원하는 경로의 신호를 제외하고 추정된 각 경로의 신호들을 수신기에서 수신된 신호에서 제거한다.

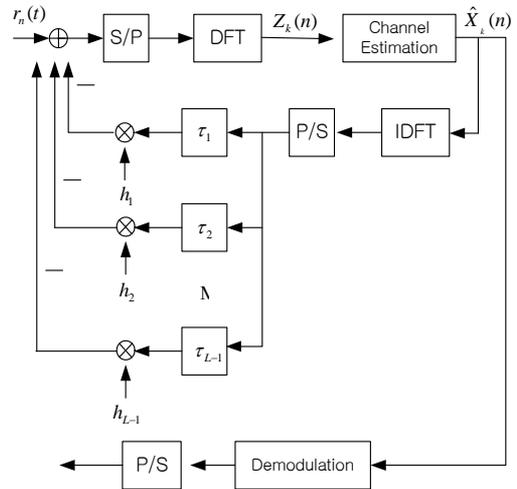


그림 3. PIC 기법을 이용한 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 수신기 블록도

이와 같은 방법을 통해 원하지 않는 경로의 신호를 제거함으로써 간섭성분을 줄이고 보다 정확한 송신 데이터를 추정할 수 있다. 이 과정을 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다. k 번째 부반송파로 전송되는 n 번째 OFDM 심볼은 DFT 과정과 채널 추정 과정을 통해서 $\hat{X}_k(n)$ 가 되고, $\hat{X}_k(n)$ 에 IDFT 과정을 적용하면 다음과 같이 $\hat{x}_k(t)$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{x}_n(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{X}_k(n) g_k(t - nT_s) \quad (6)$$

이 신호를 사용하여 각 경로의 신호를 (7)식과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{r}_{n,i}(t) = h_i \hat{x}_n(t - \tau_i) \\ = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} h_i \hat{X}_k(n) g_k(t - nT_s - \tau_i), \quad i = 1, 2, K, L-1 \quad (7)$$

이렇게 추정된 신호를 수신된 OFDM 신호에서 제거하면 다음과 같다.

$$\hat{r}_n(t) = r_n(t) - \sum_{i=1}^{L-1} \hat{r}_{n,i}(t) \quad (8)$$

(8)식을 이용하여 판정을 함으로써 원하지 않는 경로의 신호들에 의한 간섭을 줄이고 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

IV. Pseudo-Decorrelator를 이용한 성능 향상 기법

Pseudo-Decorrelator를 이용한 방법은 우선 다중 경로 채널 환경을 거치면서 생기는 간섭성분들을 계산하고, 간섭성분들에 대한 Cross-Correlation 행렬을 구한 후, 구해진 행렬의 역행렬을 구하여 이것을 수신된 신호에 적용함으로써 전송된 데이터 값을 추정하는 방법이다. 간섭성분에 대한 계산은 크게 두 가지 경우로 구분해서 행해진다. k 번째 부반송파를 통해서 전송되는 n 번째 OFDM 심볼을 주목하면, 이 신호는 다른 경로의 k 번째 부반송파에 의해 전송되는 n 번째 또는 $n-1$ 번째 OFDM 심볼에 의해 간섭을 받을 수 있거나 $j(j \neq k)$ 번째 부반송파에 의해 전송되는 n 번째 또는 $n-1$ 번째 OFDM 심볼에 의해 간섭을 받을 수 있다. 이 개념을 적용한 수신기 구조는 그림 4와 같다.

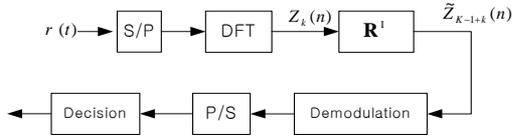


그림 4. Pseudo-Decorrelator를 이용한 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 수신기 블록도

이것을 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다. 우선 (5)식을 다음과 같이 다시 표현해 보자

$$Z_k(n) = \frac{\sqrt{N}}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} r(t) g_k^*(t - nT_s) dt$$

$$= A_k(n) + \sum_{m=1}^{L-1} I_k^m(n) + \sum_{j=0, j \neq k}^{K-1} \sum_{m=1}^{L-1} I_{j,k}^m(n) + v_k(n) \quad (9)$$

여기서 $A_k(n)$ 는 원하는 신호를 나타내는데 (10)식과 같이 표현된다.

$$A_k(n) = \frac{\sqrt{N}}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} \frac{1}{\sqrt{N}} h_1 X_k(n) g_k(t - nT_s) g_k^*(t - nT_s) dt \quad (10)$$

$I_k^m(n)$ 는 (11)식과 같이 표현할 수 있는데 k 번째 부반송파를 통해서 전송된 n 번째 OFDM 심볼이 다른 경로의 k 번째 부반송파를 통해서 전송된 n 번째 또는 $n-1$ 번째 OFDM 심볼에 의해 생기는 간섭성분을 나타낸다.

$$I_k^m(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T_s} h_m \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} X_k(i) g_k(t - iT_s - \tau_m) g_k^*(t - nT_s) dt \quad (11)$$

$I_{j,k}^m(n)$ 은 k 번째 부반송파를 통해서 전송된 n 번째 OFDM 심볼이 다른 경로의 $j(j \neq k)$ 번째 부반송파를 통해서 전송된 n 번째 또는 $n-1$ 번째 OFDM 심볼에 의해 생기는 간섭성분을 나타내며 (12)식과 같이 표현할 수 있다

$$I_{j,k}^m(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T_s} h_m \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} X_j(i) g_j(t - nT_s - \tau_m) g_k^*(t - nT_s) dt \quad (12)$$

$v_k(n)$ 은 AWGN에 의한 잡음성분으로, (13)식과 같이 표현할 수 있다

$$v_k(n) = \frac{\sqrt{N}}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} n(t) g_k^*(t - nT_s) dt \quad (13)$$

간섭성분을 분석하기 위해서 (12)식을 다음과 같이 전개해 보자.

$$I_{j,k}^m(n) = \frac{1}{T_s} h_m \int_{nT_s}^{nT_s + \tau_m} X_j(n-1) g_j(t - (n-1)T_s - \tau_m) g_k^*(t - T_s) dt$$

$$+ \frac{1}{T_s} h_m \int_{nT_s + \tau_m}^{(n+1)T_s} X_j(n) g_j(t - nT_s - \tau_m) g_k^*(t - T_s) dt$$

$$= \frac{1}{T_s} h_m X_j(n-1) \int_{nT_s}^{nT_s + \tau_m} g_j(t - (n-1)T_s - \tau_m) g_k^*(t - T_s) dt$$

$$+ \frac{1}{T_s} h_m X_j(n) \int_{nT_s + \tau_m}^{(n+1)T_s} g_j(t - nT_s - \tau_m) g_k^*(t - T_s) dt \quad (14)$$

(14)식은 다음과 같은 형태로 다시 표현할 수 있다.

$$I_{j,k}^m(n) = \frac{1}{T_s} h_m X_j(n-1) \int_0^{\tau_m} g_j(t + T_s - \tau_m) g_k^*(t) dt$$

$$+ \frac{1}{T_s} h_m X_j(n) \int_{\tau_m}^T g_j(t - \tau_m) g_k^*(t) dt \quad (15)$$

수식의 전개를 간단히 하기 위해서 $D_{j,k}^m(\tau)$ 와 $U_{j,k}^m(\tau)$ 를 다음과 같이 정의하자

$$D_{j,k}^m(\tau) = h_m \frac{1}{T_s} \int_0^{\tau_m} g_j(t + T_s - \tau) g_k^*(t) dt \quad (16)$$

$$U_{j,k}^m(\tau) = h_m \frac{1}{T_s} \int_{\tau_s}^{\tau} g_j(t - \tau) g_k^*(t) dt \quad (17)$$

(16)식과 (17)식을 사용하여 (15)식을 다음과 같이 표현할 수 있다

$$I_{j,k}^m(n) = X_j(n-1)D_{j,k}^m(\tau_m) + X_j(n)U_{j,k}^m(\tau_m) \quad (18)$$

복조 과정에 대한 설명을 단순화하기 위해서 아래와 같이 행렬벡터 형태로 수식들을 표현하기로 하자. 수신기에 수신되어 DFT 과정을 거친 신호는 (19)식과 같이 나타낼 수 있다

$$\mathbf{Z} = \mathbf{R}\mathbf{X} + \mathbf{V} \quad (19)$$

여기서, 벡터 \mathbf{X} , \mathbf{Z} , \mathbf{V} 는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{X} = [X_0(n-1) \ X_1(n-1) \ \Lambda \ X_{K-1}(n-1) \ X_0(n) \ X_1(n) \ \Lambda \ X_{K-1}(n)]^T \quad (20)$$

$$\mathbf{Z} = [Z_0(n) \ Z_1(n) \ \Lambda \ Z_{K-1}(n)]^T \quad (21)$$

$$\mathbf{V} = [v_0(n) \ v_1(n) \ \Lambda \ v_{K-1}(n)]^T \quad (22)$$

(19)식에서 cross-correlation 행렬 \mathbf{R} 은 아래와 같이 정의된다.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{0,0}(i-1) & \Lambda & r_{0,K-1}(i-1) & r_{0,0}(i) & \Lambda & r_{0,K-1}(i) \\ r_{1,0}(i-1) & \Lambda & r_{1,K-1}(i-1) & r_{1,0}(i) & \Lambda & r_{1,K-1}(i) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{K-1,0}(i-1) & \Lambda & r_{K-1,K-1}(i-1) & r_{K-1,0}(i) & \Lambda & r_{K-1,K-1}(i) \end{bmatrix} \quad (23)$$

여기서 $r_{k,j}(n-1)$ 와 $r_{k,j}(n)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$r_{k,j}(n-1) = \sum_{m=1}^L D_{j,k}^m(\tau_m) \quad (24)$$

$$r_{k,j}(n) = \sum_{m=1}^L U_{j,k}^m(\tau_m) \quad (25)$$

다음으로, cross-correlation 행렬 \mathbf{R} 의 역행렬 \mathbf{R}^I 을 구하여 $\tilde{\mathbf{Z}}$ 를 구한다. 이때 역행렬 \mathbf{R}^I 는 \mathbf{R} 이 정방행렬이 아니기 때문에 [8]에 제시된 Generalized Inverse 기법을 사용하여 구한다.

$$\tilde{\mathbf{Z}} = \mathbf{R}^I \mathbf{Z} = \mathbf{R}^I \mathbf{R} \mathbf{X} + \mathbf{R}^I \mathbf{V} \quad (26)$$

(26)식을 이용해서 $X_k(n)$ 의 추정치 $\hat{X}_k(n)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다

$$\hat{X}_k(n) = \text{sgn}[\tilde{Z}_{k-1+k}(n)] \quad (27)$$

이렇게 추정된 신호에 QPSK 복조과정을 적용하면 전송된 신호를 복원할 수 있다

V. 모의실험 결과

본 절에서는 3장에서 설명한 PIC 기법을 적용한 경우와 4장에서 제안한 Pseudo-Decorrelator를 이용한 방법의 성능 분석을 위하여 컴퓨터를 이용한 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험을 위한 시스템 환경은 다음과 같이 설정하였다. OFDM 심볼 주기는 200 μ s로 하였고, 반송파의 주파수는 2GHz로 하였으며, 변조 방식은 QPSK 방식을 사용하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 초기값을 달리 하면서 1250개의 데이터를 사용한 실험을 2400번 반복하였다. 우선 보호구간이 있는 OFDM 시스템과 보호구간이 없는 OFDM시스템이 어느 정도의 성능 차이가 있는지를 보기 위하여 모의실험을 실시하였다. 부반송파의 개수는 16개~64개로 하였고, 보호구간이 있는 경우에 보호구간의 길이는 OFDM 심볼 주기의 25%에 해당하는 50 μ s로 설정하였다. 2개의 경로가 있는 페이딩 채널을 고려하였고 2개의 경로 중 처음 경로는 시간 지연이 없다고 가정하였다. 2번째 경로의 시간 지연은 각각 13 μ s, 32 μ s, 47 μ s로 설정하였다.

그림 5는 부반송파의 개수를 64개로 하고, 보호구간이 있는 OFDM 시스템과 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능을 비교한 결과이다. 그림 5를 보면 시간 지연이 보호구간보다 작을 때 보호구간이 있는 경우에는 시간 지연이 증가하여도 성능 저하가 거의 나타나지 않지만, 보호구간이 없는 경우에는 시간 지연이 커짐에 따라서 성능 저하 현상이 증가함을 확인할 수 있다.

다음은 PIC 기법을 적용한 경우와 Pseudo-Decorrelator 방법을 이용한 경우에 어느 정도의 성능 향상이 나타나는지를 모의 실험을 통하여 관찰하였다. 이때 2번째 경로의 시간 지연은 13 μ s로 동일하게 하였고, 부반송파의 개수는 16개, 32개, 64개로 바꾸어 가면서 실험을 하였다. 그림 6에서 보

듯이 부반송파의 개수에 상관없이 PIC 방법을 적용한 경우와 Pseudo-Decorrelator를 사용하는 경우 모두 보호구간이 없는 OFDM 시스템보다 더 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다. 특히 PIC 방법을 적용한 경우보다도 Pseudo-Decorrelator를 이용한 방법이 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

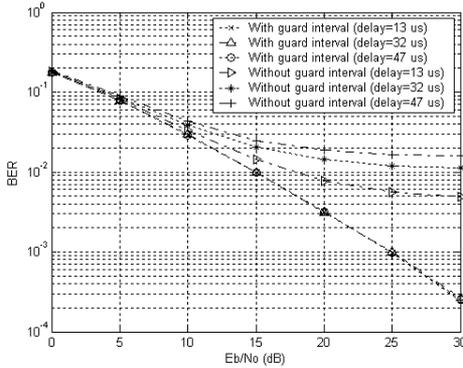
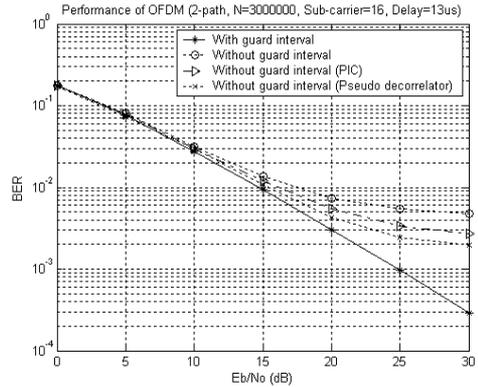


그림 5. 보호구간이 있는 OFDM 시스템과 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능 비교

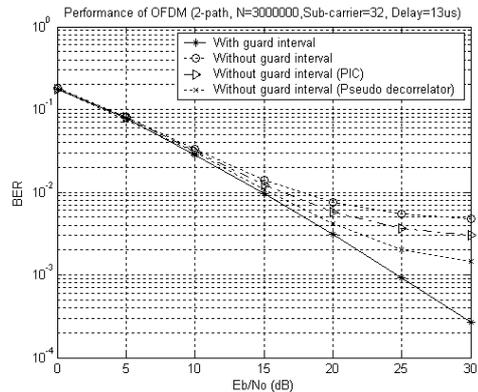
VI. 결론

본 논문에서는 일반적인 OFDM 시스템에서 데이터 전송률과 대역폭 효율을 저하시키는 보호구간을 제거하고, 그에 따른 성능 저하를 보상할 수 있는 방법을 제안하였다. 우선 다중 경로 채널 환경에서는 원하는 신호가 다중 경로신호들에 의해 간섭을 받기 때문에, PIC 기법을 통해 간섭을 주는 다중 경로의 신호를 추정하고 추정된 신호를 수신신호에서 제거함으로써 전송 신호를 추정하는 방법을 살펴보았다. 또한 간섭성분들에 대한 Cross-Correlation 행렬을 구하고 그것의 역행렬을 계산하여 수신된 신호에 적용함으로써 전송 신호를 효율적으로 복원할 수 있는 Pseudo-Decorrelator를 이용한 성능 향상 기법을 제안하였다. 모의 실험을 통하여 두 가지 방법을 사용하면 보호구간이 없는 OFDM 시스템의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 여기서 제안된 Pseudo-Decorrelator를 이용한 성능 향상 기법이 PIC 기법을 적용한 경우보다 더 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. Pseudo-Decorrelator 기법을 사용하는 경우에는 Cross-Correlation에 대한 역행렬을 구하는 부분이 추가되기는 하지만 이것이 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지는 않는다. 만일 채널 추정이 완전하지 않다면

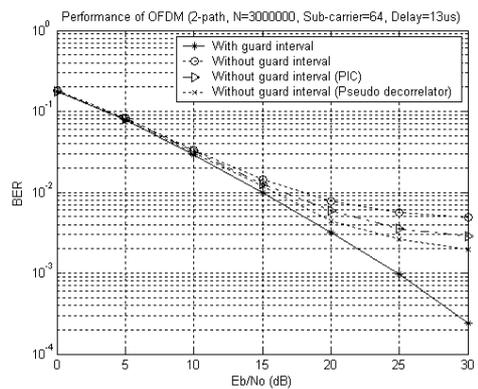
부가적인 성능 열화 현상이 나타날 수 있지만 Pseudo-Decorrelator를 이용하는 경우에는 그 영향이 일반적인 OFDM 시스템의 경우보다 크지 않으리라 생각된다. 이에 대한 검증을 위한 연구가 차후에 필요할 것으로 사료된다.



(a) 부반송파의 개수가 16인 경우



(b) 부반송파의 개수가 32인 경우



(c) 부반송파의 개수가 64인 경우

그림 6. PIC 기법을 적용한 경우와 Pseudo-Decorrelator 방법을 이용한 경우의 성능 비교

