

OFDM system에서 새로운 Doppler effect 보정 기법에 대한 연구

이 심 석* , 정 창 호* , 강 두 이* , 이 병 섭*

A study on the new doppler effect compensation scheme for OFDM system

Sim-suk Lee*, Chang-ho Jung*, Du-i Kang*, Byung-Seub Lee*

요 약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식은 유,무선 채널에서 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로, 최근 활발히 연구되고 있다. 이중 IEEE 802.16에 근거한 WiBro는 OFDM을 핵심기술로 사용하고 있으며, 최근 상용화를 통한 시장 확대를 추진 중에 있다. 이에 따라 가까운 미래에 고속 이동체(KTX, airplane..etc)에서 사용될 경우 OFDM system의 치명적인 단점인 DFS(Doppler Frequency Shift)에 의한 ICI(inter-carrier interference)가 발생할 수 있다. 본문에서는 위성을 통한 OFDM system operating에 있어서 Doppler effects에 대한 새로운 3가지 보정 기법을 제시하고 constellation과 BER curve를 통하여 향상된 성능을 확인한다.

Key Words : communication; WiBro; doppler effect

Abstract

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) technique is suitable for high speed data transfer both in wired/wireless channels, and is actively studied recently. Among them, WiBro based on IEEE 802.16 uses OFDM as its core technology, and is currently trying to expand market through commercialization. Therefore, if it's used for high speed moving object(KTX, airplane..etc) in near future, there is a possibility of ICI(inter-carrier interference) to occur due to DFS(Doppler Frequency Shift), a critical weak point of OFDM System. This study suggests 3 compensation techniques for Doppler effects in OFDM system operating through satellite, and confirms improved performance through constellation and BER curve.

I . 서 론

OFDM system은 주파수 선택적인 페이딩 채널에서의 고속 데이터 통신에 있어서 적합한 방식이지만 높은 위성 주파수 대역에서 고속 이동체(ultra high speed mobile vehicles)에 대한 system operating은 DFS에 의한 심각한 ICI를 발생하게

된다.

이러한 DFS에 대한 OFDM system의 문제점은 random noise와 관계없이 frequency offset에 민감하여 bit error가 saturation 되는 것으로 설명할 수 있다[1],[2]. ICI에 의한 왜곡을 감소시키기 위해서 correlative coding을 사용한 ICI self canceling scheme은 bandwidth efficiency의

* 한국항공대학교 정보통신공학과 위성통신연구실

※ 본 연구는 한국항공대학교 정보통신공학과 지원 및 한국항공대학교 위성통신연구실 관리로 수행되었습니다.

상당한 reduction을 수반하고[3], frequency offset과 채널의 frequency response를 찾는 ICI elimination method의 경우 searching time과 large dimension interference matrix의 handling problem을 갖는다[4]. Doppler spread channel에서의 OFDM system에 대한 Low-complexity MMSE(minimum mean square error) 등화기는 아직까지 computational complexity problem을 안고 있다[5],[6]. DFS에 의한 ICI를 성공적으로 cancel 할 수 있다면 OFDM system 설계에 있어서 channel estimator 와 adaptive equalizer의 필요성이 요구되지 않는다. 위성이나 DSRC (dedicate short range communication)와 같이 good conditioned Rician channel에 대해서[7], 본문의 DFS 보상기 법은 다른 특별한 advanced equalizer 없이 strict BER requirement를 얻는데 더 적합하다.

II. OFDM signal and ICI mechanism

OFDM communication system에서 l th subcarrier에서 수신된 symbol을 $X_g(l)$ 로 표현할 때 DFS에 의한 ICI와 desired signal은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_g(l) = \sum_{j=0, j \neq l}^{N-1} X_g(j)H(j-l) \quad (1.1)$$

$$S_g(l) = X_gH(0) \quad (1.2)$$

이때 Doppler interference function $H(\cdot)$ 는 다음을 만족한다.

$$H(j-l) = \frac{\sin(\pi(j-l+\epsilon))}{N\sin\left(\frac{\pi}{N}(j-l+\epsilon)\right)} \times \exp\left(i\pi\left(1 - \frac{1}{N}(j-l+\epsilon)\right)\right) \quad (1.3)$$

여기서 ϵ 는 부반송파 산란에 의한 정규화된 Doppler frequency offset이다.

Doppler shift effect를 명확히 설명하기 위해서 수신된 data symbol을 $X(l)$ 로 나타낼 때

Doppler shift channel에서 l th subcarrier에 수신된 signal은

$$Y(l) = X(l)H(0) + \sum_{j=0, l \neq j}^{N-1} X(j)H(j-l) \quad (1.4)$$

로 표현할 수 있다.

III. Constellation Deformed by ICI

l th subcarrier에서 ICI는 이웃하는 몇 개의 subcarrier들로부터 발생하므로 식(2.4)는 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$Y(l) \cong X(l)H(0) + X(l-1)H(-1) + X(l+1)H(+1) + X(l-2)H(-2) + X(l+2)H(+2) \quad (2.1)$$

식(2.1)을 더 간략화하기 위해 식(1.3)의 첫 번째 와 두 번째 term을 삼각방정식으로 근사화 하면 다음을 만족한다.

$$\frac{\sin(\pi(j-l+\epsilon))}{N\sin\left(\frac{\pi}{N}(j-l+\epsilon)\right)} \cong \frac{\sin\pi\epsilon}{N\sin\left(\frac{\pi}{N}(j-l)\right)} \cong \frac{\epsilon}{j-l} \quad (2.2)$$

$$\exp(i\pi(l - \frac{1}{N})(j-l+\epsilon)) \cong \exp(i\pi(l-k))\exp(i\pi\epsilon) \quad (2.3)$$

위의 식(2.2)과 식(2.3)을 식(2.1)에 대입하여 양 변을 $X(l)$ 로 나눠주면

$$\frac{Y(l)}{X(l)} \cong \exp(i\pi\epsilon) + \left\{ \frac{-X(l-1) - X(l+1)}{X(l)} \right\} \epsilon \exp(i\pi\epsilon) + \left\{ \frac{X(l-2) + X(l+2)}{X(l)} \right\} \frac{\epsilon}{2} \exp(i\pi\epsilon) \quad (2.4)$$

로 나타낼 수 있다.

식(2.4)의 value는 각각의 수신된 symbol $Y(l)$ 의 amplitude 와 angular constellation의 deformation을 추정할 수 있다. 두 개의 composite random sequences를

$Z_1 = \{(-X(l-1) - X(l+1))/X(l)\}$,
 $Z_2 = \{(X(l-2) + X(l+1))/X(l)\}$ 로 정의할 때 식(2.4)의 expectation value는 다음과 같다.

$$E[Y(k)/X(k)] \cong \exp(i\pi\epsilon) \quad (2.5)$$

여기서, $E[Z_1] = 0$, $E[Z_2] = 0$ 이다.

즉, complex unit circle에서 $Y(l)$ 의 constellation의 center는 $X(l)$ 의 constellation의 center로부터 $(\pi\epsilon)$ radian 만큼 shift 되어진다. $Y(l)$ 의 dispersiveness는 식(2.4)에서 ϵ 과 $\exp(i\pi\epsilon)$ 에 비례하는 또 다른 composite random sequence $Z_1 \exp(i\pi\epsilon) + Z_2(\epsilon/2) \exp(i\pi\epsilon)$ 의 variance에 의해 결정된다.

IV. The Satellite Downlink Channel

본문에서는 위성에서 고속 이동체에 대한 OFDM signal의 전송을 고려하여 channel environment를 간단한 Two-ray Rician Channel로 설정하였다. 이는 일반적으로 이동통신환경에서의 Rayleigh channel modeling과는 달리 위성에서는 direct path와 τ 만큼 time delay된 reflected path가 존재하기 때문이며, 이때 수신된 signal $r(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = As(t) + Bs(t - \tau) \quad (3.1)$$

위 식(3.1)의 양변을 FT(fourier transform)를 수행하여 frequency domain에서의 식으로 정리하면

$$\begin{aligned} R(f) &= AS(f) + BS(f) \times \exp(-j2\pi f\tau) \\ &= AS(f) \left\{ 1 + \frac{B}{A} \exp(-j2\pi f\tau) \right\} \end{aligned} \quad (3.2)$$

로 나타낼 수 있다.

이때 channel response $H(f)$ 를 다음과 같이 $\left\{ 1 + \frac{B}{A} \exp(-j2\pi f\tau) \right\}$ 로 정의한다면 식 (3.2)는 $R(f) = AS(f)H(f)$ 로 표현할 수 있다. 수신된 신호 $r(t)$ 와 $As(t)$ 또는 $Bs(t - \tau)$ 와의 correlation을 수행함으로써 식(3.2)에서 우변을 전달함수 $H(f)$ 의 역수로 정리하면 delay spread의 compensation이 가능하다.

V. Compensation Methods

일반적으로 compensation technique은 time-domain method 또는, frequency domain method로 분류할 수 있다.

1. Compensation By Reverse operation

frequency domain compensation method의 경우 하나는 식(2.5)에서 distortion의 inverse operation을 취하여 다음과 같이 compensation된다.

$$Y_c(l) = \frac{Y(l)}{E[Y(l)/X(l)]} \cong \frac{Y(l)}{\exp(i\pi\epsilon)} \quad (4.1.1)$$

식(4.1.1)의 compensation technique은 $Y(l)$ 의 constellation center가 $X(l)$ 의 constellation center로 움직이지만 composite complex random sequence, $Z_1 + Z_2(\epsilon/2)$ 에 종속되므로 $Y(l)$ 의 constellation dispersiveness는 감소하지 않는다.

2. Compensation By H matrix

frequency domain compensation의 다른 scheme으로는 식(1.3)의 interference matrix H 를 사용하여 수행한다.

received data vector

$$\bar{Y} = [Y(0), Y(1), \dots, Y(N-1)]^T$$

transmitted data vector

$$\bar{X} = [X(0), X(1), \dots, X(N-1)]^T$$

라고 할 때 우변을 H^{-1} 로 정리하면 다음과 같다.

$$\bar{X} = H^{-1} \bar{Y} \quad (4.2.1)$$

3. Compensation By pre-FFT

Time domain compensation scheme은 앞서 언급한 1)과 2)에 비해서 뛰어난 성능을 보인다.

$$c(n) = IFFT[E[Y(l)/X(l)]^{-1}] \\ = IFFT[-exp(j\pi\epsilon)]$$

으로 정의할 때 Received time domain signal $y(n)$ 와 $c(n)$ 의 곱으로 수행할 수 있다.

$$x(n) = y(n) \cdot \left\{ IFFT \left[E \left[\frac{Y(l)}{X(l)} \right]^{-1} \right] \right\} \quad (4.3.1) \\ \cong y(n) \cdot \{ IFFT[exp(-i\pi\epsilon)] \}$$

DFS는 실제로 any angular rotation이나 constellation의 dispersiveness를 초래하는 FFT demodulation전에 time domain에서 correction 되기 때문에 3)의 method가 1) or 2) 보다 더 나은 성능을 보인다.

VI. 시뮬레이션 & 결론

Simulation의 결과는 QAM modulation 방식으로 865 sub-carriers(2N-IFFT/FFT, N=1024 point)로 얻어진 것이며, sub-carrier space와 carrier frequency는 각각 9.77KHz, 2.3GHz(WiBro system)로 설정하였다. 식(4.1.1)에서 제시했듯이 constellation의 dispersiveness와 angular rotation의 정도는 frequency offset value ϵ 에 비례

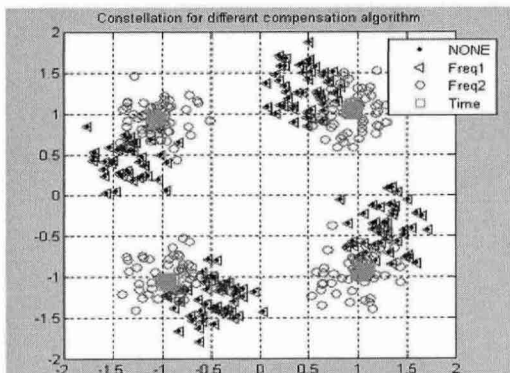


Fig 1. Constellation for Different Compensation Methods

Fig 1.은 offset value $\epsilon=0.15$, SNR=0~30dB, loop=10, 채널환경이 AWGN (Addictive White Gaussian Noise)일 때, 본문에서 제시한 3가지 다른 기법으로 보상한 결과를 constellation으로 보여 준 결과이다. 이때 'NONE'은 non-compensation, 'FREQ1'은 2)에서 제시한 H matrix에 의한 compensation, 'FREQ2'는 1)에서 제시한 식(4.1.1)에 의한 compensation, 'TIME'는 3)에서 제시한 compensation이다. 'FREQ1'의 경우 dispersion이 오히려 'NONE'보다 크게 나타났음을 알 수 있는데 이것은 matrix multiplication process로 인접 carrier들이 random하게 superpose되기 때문이다. 그럼에도 constellation의 center는 correct되었음을 알 수 있다.

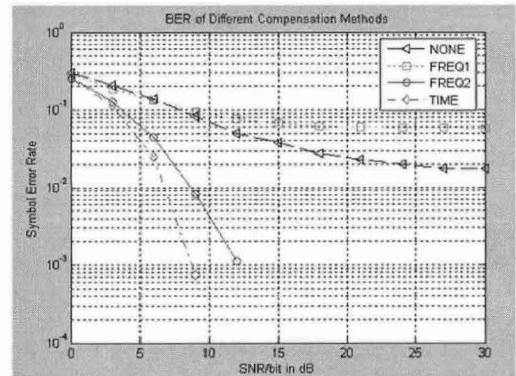


Fig 2. BER for Different Compensation Methods

Fig 2.는 Fig 1.의 constellation의 BER performance를 나타낸 것이다. Fig 2.에서 보면 3)에서 제시한 compensation method가 가장 향상된 BER performance를 보여 준다. Simulation의 결과에서 보면, 실제 BER requirement는 특정 ϵ 의 범위에서 제시된 compensation method는 간단하지만 문제를 해결 하는데 효율적인 방법일 수 있다. Fig 3. 과 Fig 4.는 3)에서 제시했던 Rician Fading Channel에서의 constellation과 BER performance의 simulation 결과이다.

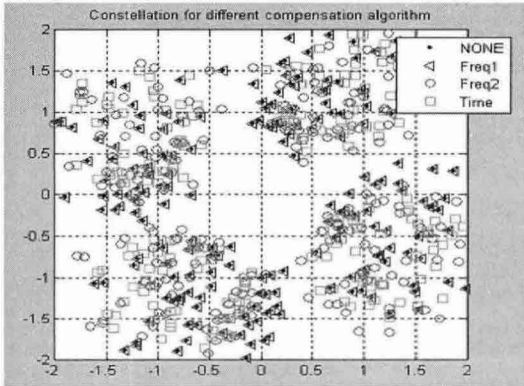


Fig 3. Constellation for Different Compensation Methods-In two ray Rician Fading channel (Before channel estimation)

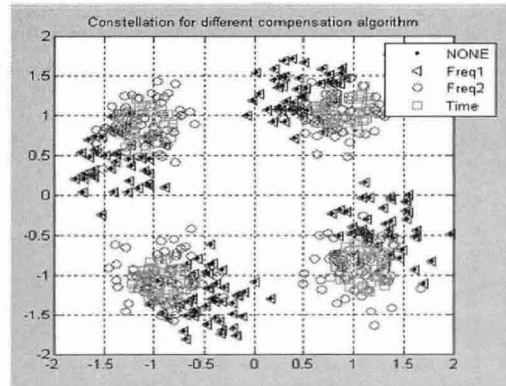


Fig 5 Constellation for Different Compensation Methods-In two ray Rician Fading channel (After channel estimation)

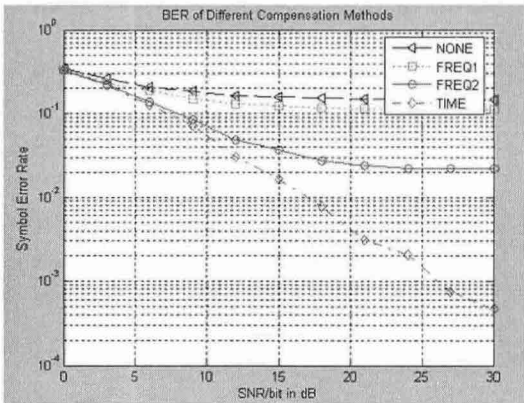


Fig 4. BER for Different Compensation Methods-In two ray Rician Fading channel (Before channel estimation)

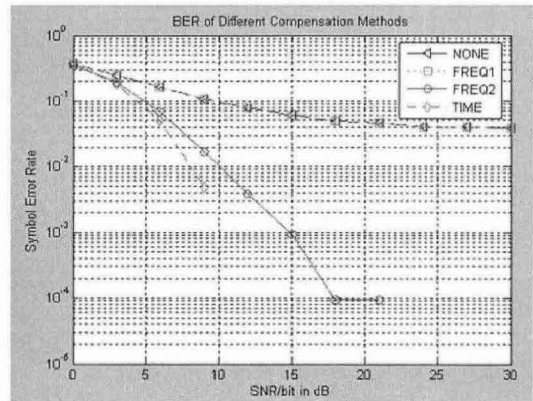


Fig 6. BER for Different Compensation Methods-In two ray Rician Fading channel (After channel estimation)

channel외에 parameters는 동일한 조건이며(K factor는 8.2dB), channel estimation없이 수행하였다. constellation의 dispersion과 BER이 AWGN에서의 결과와 비교하여 성능의 improvement가 작지만 그럼에도 본문에서 제시한 각 compensation method에 의한 향상을 확인할 수 있다.

Fig 5. 와 Fig 6.은 Rician Fading Channel에서의 간단한 channel estimation을 수행한 후의 constellation과 BER performance의 simulation 결과이다.

Fig 3., Fig 4.와 동일한 조건에서 간단한 channel estimation만으로 성능이 AWGN 환경과 같은 결과를 낼 수 있다.

고속 이동체에서 광대역 OFDM 인터넷 위성 서비스를 제공하려면 OFDM의 doppler 영향을 보상해야 한다. 본 논문에서는 도플러 영향을 보정한 새로운 compensation method를 적절한 유도 분석과 시뮬레이션을 통해 제안하였다. 결론적으로 시간 영역 도플러 보정 기법은 광대역 이동 OFDM 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 유력한 후보가 될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Zhao and S. G. Haggma, "BER Analysis of OFDM communication System with ICI," Proc. Int. Conf on communication Technology., vol 2. pp1-5, Beijing China, October 22-24, 1998.
- [2] R. Nee and R. Prasad, OFDM For Wireless Multimedia Communications. Artech House Publishers, Mar. 2000.
- [3] Y. Zhao and S. G. Haggma, "Inter-carrier Interference Self-Cancellation Scheme for OFDM Mobile Communication Systems," IEEE Trans. On Communication., vol. 49, pp. 1185-1191, July. 2001.
- [4] T. Yusek and H. Arslan, "ICI cancellationbased channel estimation for OFDM systems," Proc. of Radio and Wireless Conf., pp. 111-114, Aug. 2003.
- [5] P. Schniter, "Low-Complexity Equalization of OFDM in Doubly Selective Channels," IEEE Trans. On Signal Proc., vol. 52, no. 4, pp. 1002-1011, April. 2004.
- [6] L. Rugini, P. Banelli and G. leus, "Low Complexity Banded Equalizer for OFDM system in Doppler Spread Channels," EURASIP Journal on Applied Signal Processing., vol. 2006, pp. 1-13, April. 2006.
- [7] B. S. Lee and D. G. Oh, "Performance Evaluation of the Physical Layer of the DRSC Operating in 5.8 GHz frequency band," ETRI Journal., vol. 23, no. 3, pp. 121-128, Sept. 2001.

저 자

이 심 석(Sim-suk Lee)



2000년 3월~현재 :
한국항공대학교
정보통신공학과
박사과정

<관심분야>무선통신 성능
개선기법

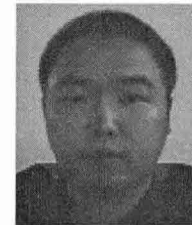
정 창 호(Chang-ho Jung)



1998년 3월~현재 :
한국항공대학교
정보통신공학과
재학중

<관심분야>통신공학,
정보공학

강 두 이(Du-i Kang)



1999년 3월~현재 :
한국항공대학교
정보통신공학과 재학중

<관심분야>통신공학,
정보공학

이 병 섭(Byung-Seub Lee)



1979년 2월 : 한국
항공대학교
전자공학과 졸업
1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 석사
1992년 2월 : New
jersey Institute of
Technology 박사

1992년~현재 : 한국항공대학교
정보통신공학과 교수

<관심분야> 위성통신, 신호처리, adaptive array