

OFDM 시스템에서 보간 순서에 따르는 채널 추정기의 성능 비교

조창연, 김준태
 건국대학교 전자정보통신공학부
 e-mail : opened, jtkim@konkuk.ac.kr

Analysis of channel estimation performance associated with the interpolation order in OFDM System

Chang yeon Cho, Joon tae Kim
 School of Electronic Engineering
 Konkuk University

Abstract In this paper, we analyze the channel estimation performances associated with the interpolation order for OFDM systems. We first analyze the time varying channel and frequency selective channel, and then we derive the channel index which indicates the ratio of time axis variation and frequency axis variation. The analyzed results show that time interpolation followed by a frequency interpolation is adequate for the channel with a channel index larger than a certain threshold value and vice versa. Computer simulation explains that the method which decides interpolation order outperforms fixed order estimation.

I. 서 론

OFDM 전송방식은 전체 채널을 다수의 협대역 직교 부반송파로 분할해 동시에 데이터를 전송함으로써, 주파수 선택적인 페이딩 채널 환경에서도 고속의 데이터 전송이 가능하다[1]. 일반적인 OFDM의 채널 추정 방식으로는 데이터 심볼 사이에 파일럿을 삽입해 채널을 추정하는 방식이 사용된다[2]. 이러한 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정의 방식은 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 시간과 주파수 2차원 격자에서 한 번에 채널을 추정하는 2차원 추정 방식으로, 이는 성능이 뛰어나지만 복잡성이 높다[3]. 다른 하나는 시간과 주파수 축에서 차례대로 추정하는 1차원 추정 방식으로 구조는 간단하지만 성능이 다소 떨어지는 단점이 있다.

일반적으로 1차원 채널 추정의 방법은 간단한 구조에 비해 좋은 성능을 보이기 때문에 널리 사용된다. 채널의 상황이 시간과 주파수에서 변화가 적은 쪽으로 먼저 보간을 하면 추정이 정확할 수 있다. 나아가 이러한 채널 정보를 바탕으로 보간의 순서를 결정할 수 있다면 OFDM 수신기의 성능이 더욱 향상될 것으로 보인다.

본 논문에서는, OFDM 시스템에서 보간의 순서에 따른 채널 추정 성능을 분석하고자 한다. 먼저 심볼의 최대 지연시간과 최대 도플러 주파수 등의 채널 정보를 바탕으로 보간의 순서를 결정하고, 이 순서에 따라 1차원 선형 보간을 수행한다. 모의실험의 결과 보간의 순서가 결정된 채널 추정의 방식보다 성능이 뛰어남을 확인할 수 있다.

II. 보간 순서의 결정

파일럿 심볼을 이용한 채널 추정 방법은 OFDM 시스템에서 널리 사용되는 일반적인 방법이다[4]. 먼저 수신단에서 파일럿 심볼 위치의 채널 정보를 알아낸 후, 이를 바탕으로 인접 파일럿 내의 데이터 심볼에서의 채널

을 보간을 통해 보상한다. 나이퀴스트 샘플링 이론에 만족하는 최대 파일럿 간격을 구하기 위해서는 먼저 시간, 주파수 축에서 채널의 변화량을 알아야 한다. 시간 축에서의 변화는 도플러 주파수의 영향을 받으며, 주파수 축에서의 변화는 채널의 다중경로에 의한 최대 지연 시간에 영향을 받는다.

OFDM의 sub-carrier 수를 N , 최대 채널 지연 시간을 T_d , 한 심볼의 주기를 T_{sym} , 샘플 전송시간을 T_{sample} , 최대 도플러 주파수를 f_D 라고 하면, 주파수 도메인에서의 최대 파일럿 간격과 시간 도메인에서의 최대 파일럿 간격은,

$$m_{nyq} = \frac{N}{2 \lceil T_d / T_{sample} \rceil}, \quad n_{nyq} = \frac{1}{2T_s f_D} \quad (1)$$

가 된다[5]. ($\lceil x \rceil = x$ 이상의 최소 정수)

이때, 채널의 최대 지연 시간 T_d 는 수신된 파일럿 심볼만을 FFT를 수행하여 얻은 채널의 임펄스 응답을 구한 뒤 얻을 수 있다[6]. 또한 최대 도플러 주파수 f_D 는 OFDM 심볼마다 삽입된 연속 파일럿(continuous pilot)으로 알아낼 수 있다. 만약 채널의 특성을 사전에 알 수 있다면 시간, 주파수 축에서의 오버샘플링 비율을 알 수 있으므로 수신기는 이를 바탕으로 보간의 순서를 결정할 수 있다.

$$\frac{m_{nyq}}{m} \geq \frac{n_{nyq}}{n} \quad (2)$$

식 (2)에 식 (1)을 대입하여 풀이하면, 샘플 간격에 정규화된 시간 지연과 정규화된 도플러 주파수에 관한 함수로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 이때, $\lceil T_d / T_{sample} \rceil$ 이 정규화된 시간 지연 T 이고, $T_s f_D$ 는 정규화된 도플러 주파수 f 이다.

$$T \leq \frac{nNf}{m} \quad (3)$$

식 (3)을 T 와 f 에 관한 2차원 평면에 나타내면 그림 1과 같다.

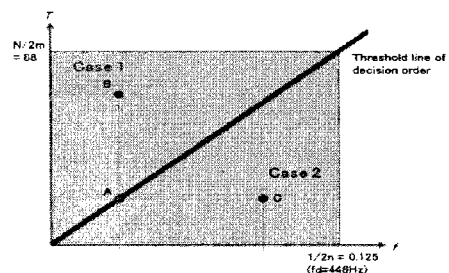


그림 1. T, f 에 따른 2차원 평면과 보간 순서를 결정하는 임계선

III. 지능형 채널 추정 방식

$N/2m$ 과 $1/2n$ 은 각각 주파수와 시간 축에서 나이퀴스트 샘플링 이론에 맞는 선이 된다. 즉, 사각형 바깥쪽 부분의 채널에서는 언더 샘플링이 되어 채널 추정 성능이 급격히 저하된다. 또한, 안쪽으로 들어올수록 도플러 주파수와 지연시간이 짧아서 오버샘플링 비율이 높아져 높은 성능을 기대할 수 있다.

이러한 2차원 평면에서 주파수와 시간축의 변화가 동일한 점을 위의 그림 1과 같이 직선으로 나타내었다. 식 (2)에서 각각 시간과 주파수축에서의 파일럿 간격인 m 과 n 은 시스템에서 이미 고정된 값이고, m_{avg} 와 n_{avg} 는 채널의 상황에 맞게 가변되는 값이다. 따라서 좌변과 우변의 크기를 비교해 보간의 순서를 결정할 수 있다.

그림 1로 설명해보면, 특정한 채널의 상황을 2차원 평면의 한 점으로 표시할 수 있다. 직선의 위쪽에 위치하는 경우를 '경우 1'이라고 하고, 그때의 채널 상황은 정규화된 도플러 주파수보다 채널의 지연이 상대적으로 큰 상황이 된다. 식으로 표현하면 식 (2)의 좌변이 우변보다 큰 상황이다. 따라서 채널 추정기는 변화가 적은 시간축으로 보간을 선행한다.

반대의 경우를 고려해보면 채널이 직선의 아래쪽에 위치한 '경우 2'를 생각해 보자. 이때는 채널의 지연값보다 도플러 주파수가 상대적으로 큰 상황이 되며, 식 (2)의 우변이 큰 상황이다. 따라서 변화가 적은 주파수축으로 보간을 선행한다.

IV. 모의실험 결과

다중 경로 채널에서 시간 보간을 선행하는 경우와 주파수 보간을 선행하는 경우를 비교, 분석하기 위해 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 모의실험에 사용된 OFDM 시스템은 DVB-T(2K)의 모델을 사용하였고, 채널코딩은 사용하지 않았다. 모든 채널은 2개의 경로를 갖는 채널로서 첫 번째 경로는 지연과 신호 감쇄가 없는 LOS(Line of sight)이고, 두 번째 경로는 지연 샘플 수만큼 지연되고 -3dB의 전력을 갖는 채널로 모델링하였다.

표 1. 모의실험 환경

변조방식	QPSK
부반송파의 수	1705
FFT 크기	2048
보호구간	1/4
보간 방법	선형 보간

표 2. 모의실험에 사용된 채널 환경

조건	지연 샘플 수	정규화된 도플러 주파수
A	22	0.03125
B	66	0.03125
C	22	0.09375

조건 A(그림 2)는 채널의 시간, 주파수 변화의 정도가 유사한 채널 환경으로, 어느 쪽으로 먼저 보간을 해도 추정 성능이 비슷함을 확인하였다. 조건 B(그림 3)는 도플러 주파수를 고정시킨 상황에서 채널의 최대 지연 시간을 증가한 상황이다. 여기서는 시간 축의 선행 보간이 더 좋은 성능을 나타냄을 보이고 있다. 조건 C(그림 3)는 반대의 채널 상황이 고려되어 주파수 축만의 보간이 좋은 성능을 보이고 있다. 모의실험 결과 변화가 심한 축으로의 보간이 선행된다는 것은 채

널 추정 성능을 감소시키는 것을 확인할 수 있다.

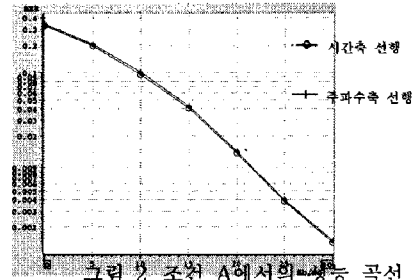


그림 2. 조건 A에서의 성능 곡선

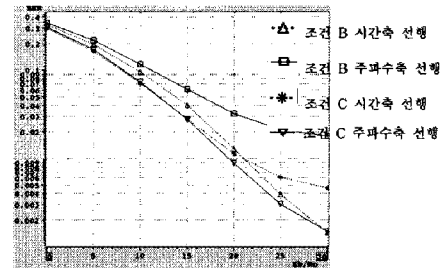


그림 3. 조건 B, C에서의 성능곡선

V. 결 론

본 논문에서는 수신기에서 채널의 시간, 주파수 특성에 따라 보간의 순서를 결정하였다. 채널 추정에 있어서 보간의 순서를 결정하는 것이 성능에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 만약 채널의 변동이 상대적으로 적은 방향으로 보간이 선행된다면, 채널 추정의 성능은 더욱 향상될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Schulze, C. Lüders, "Theory and Applications of OFDM and CDMA Wideband Wireless Communications", John Wiley & Sons, 2005.
- [2] R. Negi, J. Cioffi, "Pilot tone selection for channel estimation in a mobile OFDM system", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp. 1122-1128, Aug 1998.
- [3] P. Hoecher, S. Kaiser, P. Robertson, "Two-dimensional pilot-symbol-aided channel estimation by wiener filtering", in Proc. IEEE ICASSP'97, Munich, Germany, pp. 1845-1848, Apr. 1997.
- [4] J. K. Cavers, "An analysis of pilot symbol assisted modulation for rayleigh fading channels", IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 40, No. 4, pp. 686-693, Nov 1991.
- [5] M. J. Fernandez-Genito Garcia, S. Zazo, J. M. Paez-Borrillo, "Pilot patterns for channel estimation in OFDM", IEEE Letters, Vol. 36, No. 12, pp. 1049-1050, June 2000.
- [6] Y. Zhao, A. Huang, "A novel channel estimation method for OFDM mobile communication system based on pilot signals and transform-domain processing", IEEE Vehicular Tech. Conf. Vol. 3, pp. 2089-2093, May, 1997.