

무선랜에서 확률분포를 이용한 다중 사용자 채널 피드백 개선 방법

임 우 창*

An Improved Method of Multiuser Channel Feedback Using Probability Distribution in Wireless LAN Environments

Woochang Lim*

요 약

본 논문에서는 WLAN (IEEE802.11ac)[1]에서 사용하는 채널 피드백 방법을 제시한다. 그리고 확률분포를 바탕으로 양자화 포인트를 변경하여 더 정확한 채널 피드백 방법을 제안한다. 제안된 성능을 확인하기 위하여 실제 채널과 피드백 된 채널 정보의 유사도를 비교하였다. 그 결과 제안된 채널 피드백이 같은 수의 비트를 사용하여 더 정확한 채널정보를 전달할 수 있음을 보여주었다. 또한 MU-MIMO (Multi User Multiple Input Multiple Output) 상황에서 precoding을 사용하였을 때 throughput을 비교하였다. 제안된 채널 피드백을 가지고 precoding을 이용하였을 때 간섭을 더 효율적으로 줄일 수 있는 것을 확인하였다.

Key Words : WLAN, IEEE802.11ac, Channel feedback

ABSTRACT

This letter presents the channel feedback scheme of WLAN (IEEE802.11ac)[1]. And we propose more accurate channel feedback scheme by changing quantization points based on probability distribution. To show its performance, similarity between real channel and feedback channel is compared. The

results show that proposed feedback provide more accurate channel information with the same number of bits. Also we compare throughput under MU-MIMO (Multi User Multiple Input Multiple Output) using precoding. Precoding with proposed channel feedback reduces interference efficiently.

I. 서 론

WLAN의 표준인 IEEE802.11ac부터 MU-MIMO를 지원한다. MU-MIMO를 위해서는 정확한 채널정보를 바탕으로 간섭을 제거하는 것이 중요하다. 채널 정보를 얻기 위해서 사용자에서 AP로 채널 정보를 전달해주는 explicit 방법과 채널의 reciprocity를 이용하는 implicit 방법이 있다. IEEE802.11ac에서는 채널 피드백을 사용하는 explicit 방법만 제시하고 있지만 IEEE802.11ac환경에서 explicit 방법과 implicit 방법을 비교하는 연구도 수행되었다²⁾. 본 논문에서는 IEEE802.11ac의 채널 피드백에서 확률분포에 따라 양자화 포인트를 변경하여 채널 피드백 성능을 개선할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

II. 채널 피드백 (IEEE802.11ac)

AP와 사용자 k 간의 채널을 $\mathbf{H}_k(N_t \times N_{r,k})$ 라고 하자. 여기서 N_t 는 AP의 안테나의 개수, $N_{r,k}$ 는 사용자 k 의 안테나 수를 나타낸다. \mathbf{H}_k 를 SVD (Singular Value Decomposition) 할 경우 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{H}_k = \mathbf{U}_k \mathbf{D}_k \mathbf{V}_k^H \tag{1}$$

여기서 \mathbf{U}_k 와 \mathbf{V}_k 는 unitary matrix이고 \mathbf{D}_k 는 실수 값을 갖는 대각행렬이다. 식(1)에서 AP가 송신 시 사용자간 간섭 제거를 위해 필요한 정보는 송신 방향에 해당하는 \mathbf{V}_k 이다. 각 사용자 k 는 \mathbf{V}_k 를 각도로부터 표현 가능한 행렬들로 분해 후 각도 정보만 양자화하여 보낸다. 행렬을 분해방법은 다음과 같다.

2.1 전송할 행렬 선정

\mathbf{D}_k 의 원소 값이 0인 것과 매칭 되는 \mathbf{V}_k 의 row vector은 채널 gain이 0이므로 필요하지 않다. 해당 row vector를 제외하여 행렬을 다시 구성한다. 이를

* First Author : The 1st R&D Institute, Agency for Defense Development, wclim@add.re.kr, 정회원
 논문번호 : KICS2017-03-083, Received March 25, 2017; Revised April 27, 2017; Accepted May 10, 2017

$\widehat{\mathbf{V}}_k$ 라 하고 이 행렬을 분해하여 전달한다.

2.2 실수화

본 과정에서는 분해하려는 행렬을 대각원소의 크기가 1이고 복소수인 대각정방행렬과 i 열의 원소들이 양의 실수를 갖는 행렬의 곱으로 표현한다. 해당 대각정방행렬을 \mathbf{D}_i 로 표현하고 괄호 안에 대각원소들을 열거하면 대각정방행렬은 $\mathbf{D}_i(1_{i-1}, e^{j\phi_{i1}}, \dots, e^{j\phi_{N_s-i}}, 1)$ 라고 표현할 수 있다. 이때 1_{i-1} 은 1이 $i-1$ 개 열거된 것을 의미한다. 맨 처음 수행 시 i 는 1부터 시작하고 분해 후 오른쪽 행렬에 대해 3)과정을 수행한다. 이 과정의 목적은 3)과정을 실수범위에서 수행할 수 있도록 하는 것이다.

2.3 Givens rotation

이 과정에서는 Givens rotation 행렬들의 곱으로 분해하여 분해된 후 맨 오른쪽 행렬의 i 열 i 행 아래의 원소들을 모두 0으로 만든다. Givens rotation 행렬은 식(2)와 같이 표현가능한데 $\mathbf{G}_{ii}(\psi)$ 의 수학적 의미는 i 행과 l 행의 원소들이 i 차원에서 이루는 각도를 ψ 만큼 회전시키는 것이다. i 차원에서 회전을 통해서 i 열 l 행 원소의 값을 0으로 만든다.

$$\mathbf{G}_{ii}(\psi) = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{i-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\psi) & 0 & \sin(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I}_{l-i-1} & 0 & 0 \\ 0 & -\sin(\psi) & 0 & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{I}_{N_s-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이때 \mathbf{I}_{i-1} 은 $(i-1) \times (i-1)$ 단위행렬을 나타낸다. 분해하는 순서는 i 행과 $i+1$ 행을 Given rotation으로 적용하여 $i+1$ 행 값을 0으로 만들고 다음에는 i 행과 $i+2$ 행을 수행하여 $i+2$ 행을 0으로 만드는 식으로 점차 행을 내려가며 전체 i 열을 수행한다.

4) i 값을 1증가시킨 후 분해된 행렬들 중 가장 오른쪽 행렬에 대해 2)부터 다시 반복한다.

위의 과정을 모두 수행하면 $\widehat{\mathbf{V}}_k$ 는 식(3)과 같이 표현할 수 있고 이때 $\tilde{\mathbf{I}}_{N_r,k \times N_t}$ 는 주대각성분이 모두 1인 $N_r,k \times N_t$ 대각행렬을 나타낸다.

$$\widehat{\mathbf{V}}_k = \left[\prod_{i=1}^{\min(N_r,k,N_t)} \left[\mathbf{D}_i(1_{i-1}, e^{j\phi_{i1}}, \dots, e^{j\phi_{N_s-i}}, 1) \right] \times \prod_{l=i+1}^{N_r,k} \mathbf{G}_{ii}^T(\psi_{li}) \right] \tilde{\mathbf{I}}_{N_r,k \times N_t} \quad (3)$$

분해된 행렬들은 모두 각도 정보인 ϕ 와 ψ 로 표현

할 수 있고 각도를 양자화하여 AP로 전달한다. ϕ 는 $[0, 2\pi]$ 범위에서, ψ 는 $[0, \pi/2]$ 범위에서 균등한 간격을 갖도록 양자화 포인트가 정해져있다. 각각의 각도를 나타내기 위해서 IEEE802.11ac에서는 ψ 는 5비트, ϕ 는 7비트 혹은 ψ 는 7비트, ϕ 는 9비트를 사용한다. b_ψ, b_ϕ 를 각각 ψ, ϕ 를 양자화 하는데 사용되는 비트수로 나타내도록 하겠다.

III. 제안된 채널 피드백 방법

제안된 방법은 IEEE802.11ac 채널피드백과 동일한 과정을 사용하지만 각도를 양자화 시 확률분포에 근거하여 양자화 포인트를 변경하여 수행한다. 각 원소들이 평균이 0인 complex Gaussian 분포를 갖는 채널을 생성하여 분석한 결과 채널의 공분산에 상관없이 ϕ 는 거의 uniform한 분포를 나타내었고 ψ 는 그림1과 같은 분포를 나타내었다. 따라서 ψ 를 양자화 할 때 발생 확률이 높은 곳에 양자화 포인트를 밀집하여 배치하는 것이 성능향상에 도움을 줄 수 있다. 특정 분포로 난수를 생성하는 inverse transform^[3]방법을 응용하여 양자화 포인트를 새로 배치하였다. 그림 1과 같이 해당 분포의 CDF (Cumulative Distribution Function)를 그린 후 치역을 0에서 1까지 동일한 간격의 2^{b_ψ} 수만큼 나누고 해당 값들의 inverse값들을 양자화 지점들로 지정하였다. CDF의 치역을 균등하게 나누었기 때문에 각 포인트 간의 확률누적 값은 동일하다. 따라서 발생 확률이 높을 경우에는 포인트 간의 간격이 좁아진다. 그림 1의 아래 부분은 분포에 따라서 작성한 양자화 지점을 보여준다.

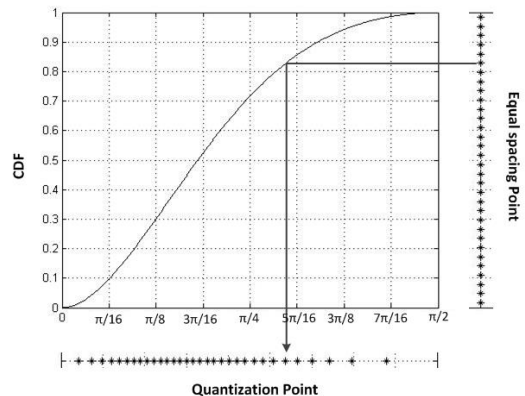


그림 1. 분해에 따른 ψ 의 CDF와 양자화 포인트
Fig. 1. CDF and quantization point of ψ

표 1. 실제 채널과 피드백 된 채널의 Frobenius distance 비교

Table 1. Comparison of Frobenius distance between real channel and feedback channel

Channel		Frobenius distance	
		IEEE802.11ac	Proposed
$N_t = 4$	$b_\psi = 5, b_\phi = 7$	0.7491	0.7305
$N_{r,k} = 2$	$b_\psi = 7, b_\phi = 9$	0.7018	0.6978
$N_t = 8$	$b_\psi = 5, b_\phi = 7$	0.6145	0.5784
$N_{r,k} = 2$	$b_\psi = 7, b_\phi = 9$	0.5092	0.5017

IV. 분석

제안된 방법의 성능을 알아보기 위해서 두 가지 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 채널과 수신 잡음을 위해 각 행렬의 원소들이 평균이 0이고 분산이 1인 독립적인 complex gaussian 분포를 이용했다. 첫 번째로 피드백 된 채널과 실제 채널의 Frobenius distance를 확인 하였다. 피드백 된 채널을 $\widehat{\mathbf{V}}_k$ 라 했을 때 Frobenius distance는 식(6)과 같이 정의된다.

$$F_{\widehat{\mathbf{V}}_k, \mathbf{V}_k} = \sqrt{\text{trace}((\widehat{\mathbf{V}}_k - \mathbf{V}_k) \cdot (\widehat{\mathbf{V}}_k - \mathbf{V}_k)^H)} \quad (6)$$

표 1은 양자화에 사용된 비트수와 행렬의 크기 에 따른 Frobenius distance를 나타낸다. 제안된 채널 피드백이 실제 채널과 더 유사한 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 IEEE802.11ac 채널 피드백과 제안된 채널 피드백을 이용하여 zero forcing을 사용했을 때 SNR (Signal to Noise Ratio)에 따른 throughput을 살펴보자. 각 사용자는 채널 정보를 정확히 알고 있고 AP는 송신 시 K 명 사용자 에게 동일한 전력을 사용하여 전송했다. 사용자 k 를 위한 precoding을 \mathbf{P}_k 라 하였을 때 전체 전력 P 에 대한 throughput은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E \left[\sum_{k=1}^K \left\{ \log_2 \left(\frac{\mathbf{I}_{N_{r,k}} + \frac{P}{K} \mathbf{H}_k^H \mathbf{P}_k \mathbf{P}_k^H \mathbf{H}_k}{\mathbf{I}_{N_{r,k}} + \frac{P}{K} \sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{H}_k^H \mathbf{P}_j \mathbf{P}_j^H \mathbf{H}_k} \right) \right\} \right] \quad (7)$$

그림 2는 AP가 안테나 4개를 가지고, 2명의 사용자가 각각 2개의 안테나를 가질 때의 SNR에 따른 throughput을 나타낸다. 양자화에 할당된 비트수가 높을수록 채널을 더 자세히 표현할 수 있기 때문에 더 높은 throughput을 가질 수 있다. 또한 IEEE802.11ac에서 제시한 채널 피드백보다 제안된 채널 피드백이

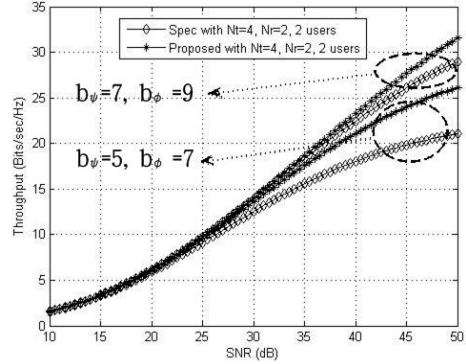


그림 2. 채널 피드백에 따른 throughput 비교
Fig. 2. Comparison of throughput with channel feedback

채널을 더 정확하게 표현할 수 있기 때문에 제안된 채널 피드백을 이용한 경우 간섭 제거를 효율적으로 하여 더 높은 throughput을 얻을 수 있다.

V. 결론

본 논문은 기존 IEEE802.11ac에서 사용하는 채널 피드백에서 확률분포에 근거하여 더 정확한 채널을 보낼 수 있는 방법을 제안하고 있다. 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법이 같은 정밀도를 사용했을 때 더 정확한 채널정보를 보낼 수 있는 것을 확인할 수 있다.

References

- [1] IEEE 802.11ac, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz (2013), Retrieved Apr., 26, 2017. from icceexplore. ieee.org/document/6687187
- [2] H. Lou, M. Ghosh, P. Xia, and R. Olesen, "A comparison of implicit and explicit channel feedback methods for MU-MIMO WLAN systems," *IEEE Int. Symp. Personal Indoor Mob. Radio Commun.*, pp. 419-424, London, United Kingdom, Sept. 2013.
- [3] L. Devroye, *Non-Uniform Random Variate Generation*, Springer-Verlag New York, 1986.