

간섭 채널에서 Han-Kobayashi 방식의 개인신호와 공용신호의 전력 할당

준희원 백 두 진*, 종신회원 박 대 영*

Power Allocation of Private and Common Information using Han-Kobayashi Scheme in Interference Channels

Du-jin Paek* Associate Member, Daeyoung Park* Lifelong Member

요 약

무선 통신 환경에서 간섭은 성능을 악화 시키는 요소이다. Han-Kobayashi 방식은 간섭의 영향을 줄이기 위해 전송하는 신호를 개인신호와 공용신호로 분리하여 전송하고, 수신기에서는 간섭 사용자의 공용신호를 제거함으로써 부분적으로 간섭을 제거한다. 본 논문에서는 개인신호만 전송할 때에 필요한 신호대 잡음비를 이용하여, 개인신호와 공용신호에 최적으로 전력을 할당하는 간단한 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 전력 할당 방법이 전수조사를 통한 기법의 성능에 근접함을 확인한다.

Key Words : Han-Kobayashi scheme, turbo decoding, interference channel, power allocation

ABSTRACT

Interference may severely deteriorate performance in wireless communication. Han-Kobayashi scheme splits each user's signal into private and common information so that the receiver removes the other's common signal for partial interference cancellation. This paper proposes an optimal power allocation to private and common signals for Han-Kobayashi scheme by using required SNR in a private information only system. Numerical results show that the proposed power allocation is quite close to the optimal power allocation based on exhaustive searches.

I. 서 론

간섭은 다중 사용자 통신 환경에서 성능을 저하시키는 주요 요소 중 하나이다. 간섭 채널을 간섭의 세기에 따라 약한 간섭(weak interference), 중간 간섭(moderate interference), 강한 간섭(strong interference), 그리고 매우 강한 간섭(very strong interference) 등으로 분류하며, 간섭 세기에 따라 최적의 신호 전송 방식은 각각 다르다^[1].

간섭채널에서 간섭의 영향을 극복하려는 통신 방식에 대한 연구가 많이 있다. 대표적인 것으로 다중 사용자 환경에서 간섭의 방향을 신호의 방향과 분리하여 간섭의 방향성을 조절하는 방식이 있고^[2], 전송하는 신호를 공용신호(common information)와 개인신호(private information)로 분리하여 전송하는 Han-Kobayashi 방식(이하 HK 방식)이 있다^[3]. HK 방식에서 공용신호는 전송하려는 수신기뿐만 아니라 간섭으로 영향을 받는 수신기에서도 복호가 가능 하다. 하지

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C1090-1011-0007)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0003603)

* 인하대학교 통신시스템연구실 (dujin102@naver.com, dpark@inha.ac.kr)

논문번호: KICS2010-08-404, 접수일자: 2010년 8월 18일, 최종논문접수일자 : 2010년 10월 26일

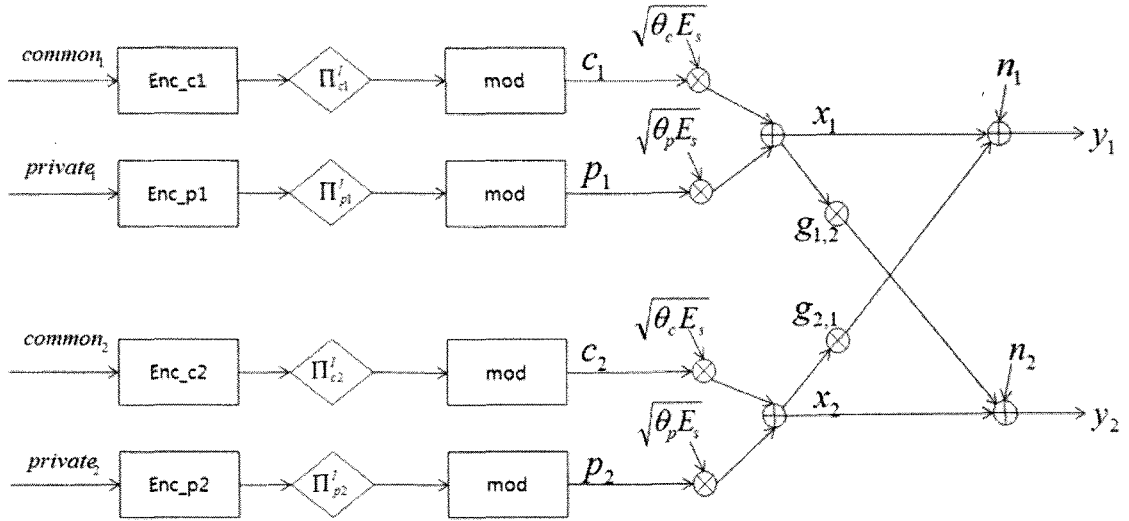


그림 1. 간섭 채널에서 Han-Kobayashi 방식을 이용한 송신기 블록도
 Fig 1. Block diagram of transmit antenna using HK scheme in the interference channel.

만, 개인신호는 각각에 상응하는 송수신기에서만 복호가 가능하고 간섭으로 수신되는 수신기에서는 복호를 할 수 없다. 따라서 HK 방식의 수신기에서는 간섭 사용자의 공용신호를 먼저 검출하여 수신 신호에서 제거한 후 내 사용자의 신호를 검출하는 순차적 간섭 제거(SIC : successive interference cancellation) 방식을 사용한다. 즉, 공용신호를 제거한 후 남은 개인신호만 잡음으로 생각하기 때문에 결과적으로 간섭의 영향이 줄어드는 효과를 보인다^[3]. 이렇게 HK 방식을 이용하면 간섭 채널의 채널 용량을 C 라 할 때, HK 방식이 달성하는 최대 전송률은 $C-1$ 이상이므로 간섭 채널의 용량을 한 비트 이내로 달성할 수 있다^[4].

현실적인 시스템에서 HK 방식을 이용하여 최적의 성능을 얻기 위해서는 공용신호와 개인신호의 전력비율을 적절하게 할당해야 한다. 본 논문에서는 두 명의 사용자간 대칭적 간섭 채널 환경(symmetrical interference channel)에서 공용신호와 개인신호의 전송률을 일정하게 할 때에 최적의 오류 성능을 내는 전력 할당 방식을 연구하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 송신 안테나에서의 간섭 채널 모델을 설명하고 III장에서는 수신 안테나에서의 복호 방식에 대해 설명한다. IV장은 HK 방식에서 전력을 최적으로 할당하는 방식을 제안한다. 마지막으로 V장에서 결론으로 마무리 한다.

II. 간섭 채널 모델 및 송신기

그림 1은 두 명의 사용자가 각각 HK 방식으로 전

송하는 시스템의 송신기 구조를 그린 것이다. 송신기에서 $2N$ 비트 크기의 송신 신호를 보낸다고 가정할 때 공용신호와 개인신호에 절반씩 N 비트의 크기로 나눈다. 각각의 신호는 부호율(coding rate) R 인 인코더를 통과하면 N/R 비트 크기의 신호가 된다. 이후 서로 다른 랜덤 인터리버와 BPSK (Binary Phase Shift Keying) 변조기를 통과하여 신호 c_1, p_1, c_2, p_2 을 얻는다.

전력 할당의 경우 대칭적 간섭 채널 환경이기 때문에 공용신호들(c_1 와 c_2)에는 전력 $\theta_c E_s$ 을 곱하고 개인신호들(p_1 와 p_2)에는 전력 $\theta_p E_s$ 을 곱한다. 각 송신기에서의 신호 x_1, x_2 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_1 = \sqrt{\theta_c E_s} c_1 + \sqrt{\theta_p E_s} p_1 \quad (1)$$

$$x_2 = \sqrt{\theta_c E_s} c_2 + \sqrt{\theta_p E_s} p_2 \quad (2)$$

$$\theta_c + \theta_p = 1, \quad \theta_c E_s + \theta_p E_s = E_s \quad (3)$$

여기서 θ_c 와 θ_p 는 각각 공용신호와 개인신호에 관련된 계수로써 전송 신호를 정규화(normalization)한다. 수신 신호 y_1, y_2 은 다음과 같이 표현된다.

$$y_1 = x_1 + g_{1,2} x_2 + n_1 \quad (4)$$

$$y_2 = g_{2,1} x_1 + x_2 + n_2 \quad (5)$$

여기서 $g_{i,j}$ 는 j 번째 송신기에서 i 번째 수신기로의 간섭 계수(interference coefficient)를 나타낸다. 대칭적 간섭 채널 환경을 고려하였기에 첫 번째 수신 수신기로의 간섭 계수와 두 번째 수신기로의 간섭 계수는 동일하다고 가정한다. ($g_{1,2} = g_{2,1} = g$) 그리고 n_1 과 n_2 는 평균이 0이고 단위 분산을 가지는 AWGN이다. 간섭 계수 g 의 정도에 따라 간섭의 종류가 달라지는데 강한 간섭은 g 의 값이 1을 넘을 때이고 약한 간섭과 중간 간섭은 g 의 값이 1보다 작을 때를 말한다^[1]. 수신기의 간섭 정도를 나타내는 g 를 미리 안다고 가정하고 송신기에서 공용신호와 개인신호의 전력을 할당하게 된다.

HK 방식은 공용신호와 개인신호의 전력을 식 (3)의 조건에 맞게 θ_p 를 조절하여 할당하고, 수신기에서는 상대방의 공용신호를 검출 후 수신 신호에서 제거하는 순차적 간섭제거 방식을 사용한다. 개인신호만 전송하는 방식(private only)에서는 공용신호를 전송하지 않고 (즉, $\theta_c = 0$) 부호율(coding rate) $2R$ 인 인코더로 인코딩하여 전송한다. 마찬가지로 공용신호만 전송하는 방식(common only)에서도 개인신호를 전송하지 않고 (즉, $\theta_p = 0$) 부호율(coding rate) $2R$ 인 인코더로 인코딩하여 전송한다.

III. 순차적 간섭 제거 방식의 복호기

HK 방식의 복호기는 그림 2와 같이 순차적 간섭

제거 방식을 사용한다. HK 방식으로 전송할 때 두 번째 수신기는 첫 번째 수신기와 대칭적으로 유사하므로 아래에서는 첫 번째 수신기의 경우에 대해서만 설명하도록 한다. 간섭 신호의 개인신호 p_2 는 잡음으로 간주하여 검출하지 않는다. 공용신호(c_1, c_2)을 먼저 검출 하고 수신신호에서 공용신호를 뺀 후에 개인신호(p_1)를 검출한다. 신호 검출을 위해서 채널 MAP(Maximum A Posteriori) 검출기를 사용한다^[5]. 채널 MAP 검출기를 이용하여 첫 번째 안테나에서 수신한 신호 y_1 으로부터 역인터리버를 거치기 전의 신호 \hat{c}_1^d 의 LLR (Log Likelihood Ratio)값을 구한다.

$$\begin{aligned} \Lambda(\hat{c}_1^d) &= \log \left[\frac{c_1^d = 1 | y_1}{c_1^d = 0 | y_1} \right] \\ &= \log \left[\frac{\sum_{c_2, p_1} P(y_1 | c_1^d = 1, c_2^d, p_1) P(c_2^d) P(p_1^d)}{\sum_{c_2, p_1} P(y_1 | c_1^d = 0, c_2^d, p_1) P(c_2^d) P(p_1^d)} \right] \quad (6) \end{aligned}$$

\hat{c}_1^d 의 LLR 값을 역인터리버(de-interleaver)를 거쳐 \hat{c}_1 의 LLR 값을 구하고 채널 디코더를 통해 공용신호(\hat{c}_1)를 얻는다. 순차적 간섭 제거 방식을 사용하기 때문에 순차적으로 공용신호들을 검출하여 다시 인코딩 후 수신한 신호 y_1 에서 제거 한다. 공용신호가 제거된 신호 y_1' 은 다음과 같다.

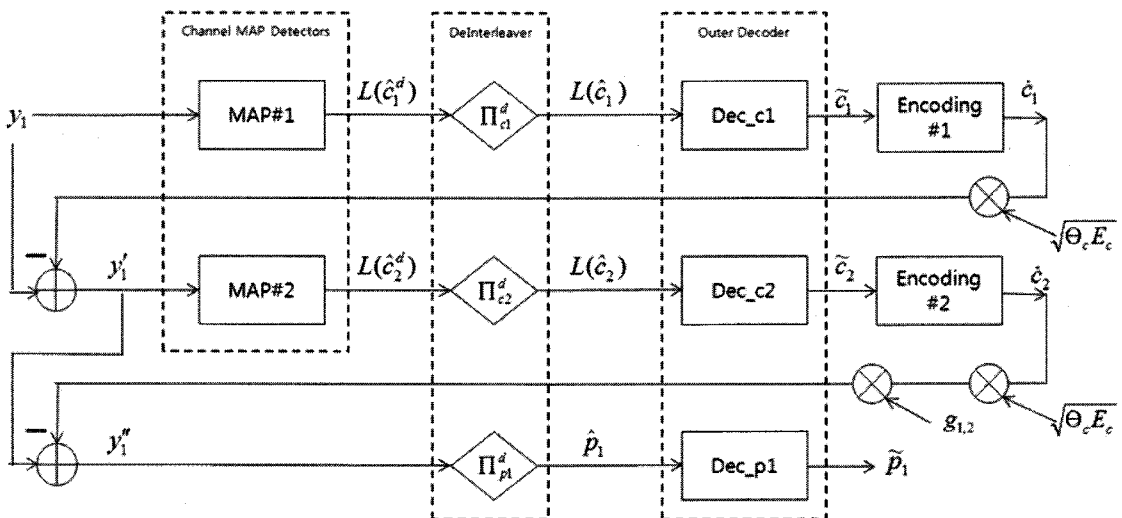


그림 2. 순차적 간섭 제거 방식을 사용한 복호기의 블록도
Fig 2. Block diagram of the decoder using successive interference cancellation.

$$y_1' = y_1 - \sqrt{\theta_c E_c} \dot{c}_1 \quad (7)$$

여기서 \dot{c}_1 는 \tilde{c}_1 을 송신기에서와 같은 방식의 인코딩, 인터리버 그리고 BPSK 변조하여 얻은 신호이다. 마찬가지로 간섭 공용신호 \tilde{c}_2 도 채널 MAP 검출기, 역인터리버 그리고 터보 디코더를 거치며 \tilde{c}_2 을 검출한 후 인코딩을 하여 \dot{c}_2 신호를 얻을 수 있다. y_1'' 는 y_1' 에서 \dot{c}_2 신호를 빼서 얻는다.

$$y_1'' = y_1' - g_{1,2} \sqrt{\theta_c E_c} \dot{c}_2 \quad (8)$$

\tilde{c}_1 와 \tilde{c}_2 의 검출이 완벽하다면 y_1'' 는 간섭이 완전히 제거되어 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_1'' = \sqrt{\theta_p E_p} \hat{p}_1 + n_1 \quad (9)$$

개인신호만 전송하는 방식은 순차적 간섭제거 방식을 사용하지 않고, 다른 사용자의 신호를 모두 간섭으로 여기고 검출한다. 공용신호만 전송하는 방식에서는 개인신호가 없으므로, 양쪽 사용자의 공용신호를 MAP detector와 채널 디코더의 반복적 복호 (iterative decoding)을 통해서 복호를 수행한다.

IV. Han-Kobayashi 방식의 전력 할당

HK 방식에서 공용신호와 개인신호의 전력을 어떻게 할당하느냐에 따라 성능이 다르게 나온다. 먼저 일일이 전력 비율을 바꾸어 가면서 최적의 할당 방식을 찾는 전수 조사 방법을 설명하고, 이렇게 찾은 할당 방식과 동일한 성능을 내는 간단한 전력 할당 방식을 제안한다.

4.1 전수 조사를 통한 전력 할당

HK 방식에서 공용신호와 개인신호의 전송율을 같게 할 때 최적의 전력할당은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta_p(E_b/N_0, g) = \operatorname{argmin}_{\theta_p} BER(E_b/N_0, g, \theta_p) \quad (10)$$

여기에서 $BER(E_b/N_0, g, \theta_p)$ 은 SNR이 E_b/N_0 이고 간섭 계수가 g 이고, 개인신호의 전력의 비율이

θ_p 일 때의 비트 오류율이다. 결국 최적의 전력 할당 θ_p 는 E_b/N_0 와 g 의 함수로 표시된다. 그러나 식 (10)에서 최적의 θ_p 를 구하는 분석적인 방법은 알려져 있지 않다. 따라서 최적의 전력 할당 방식을 찾기 위해, 간섭 계수가 g 일 때 개인신호의 전력비율 θ_p 를 0에서 1까지 순차적으로 바꾸어 가면서 실험을 실시하여, 비트 오류 확률을 가장 낮추는 θ_p 의 값을 일일이 찾는 전수 조사(exhaustive search)를 실시한다. 이를 이용하면, 특정 간섭 계수 g 일 때 오류 확률을 10^{-6} 이하로 낮추는 최소의 E_b/N_0 를 구할 수 있다. 터보 부호의 오류 확률 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 영역에서는 기준 오류 확률이 달라져도 달성하는 데 필요한 최소 E_b/N_0 이 거의 변화하지 않으므로, 이 영역 내에서 기준 오류 확률을 다른 값을 사용하여도 결과가 크게 달라지지 않는다.

그림 3은 HK 방식에서 최적의 θ_p 를 할당한 방식, 개인신호만 전송하는 방식, 공용신호만 전송하는 방식을 각각 비트 오류율을 10^{-6} 이하로 낮추는 최소의 E_b/N_0 를 그렸다. HK 방식에서는 인코더 다항식이

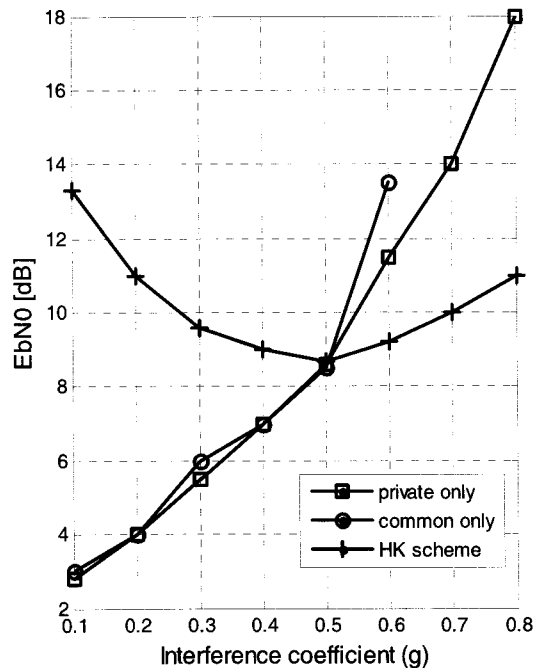


그림 3. 개인신호만 전송하는 방식, 공용신호만 전송하는 방식 그리고 HK 방식을 이용한 전수 실험의 간섭 계수에 따른 성능 비교

Fig 3. Performance comparison of private only, common only and exhaustive experiment with interference coefficient.

(15,17)₈이고 전송률 $R=1/3$ 이며 인터리버의 블록 사이즈 $N=10000$ 인 터보부호를 개인신호와 공용신호에 함께 사용하고, 두 신호를 서로 다른 인터리버로 인터리빙하여 전송한다. 개인신호 혹은 공용신호만 전송하는 경우에는 이 터보부호를 천공(puncturing)하여 전송률 2/3로 만들어 전송한다.

그림 3을 보면 채널 간 간섭 지수가 작을 때(0.5 이하)에는 공용신호와 개인신호로 나뉘어서 전송 하는 방식인 HK 방식은 좋지 않고 개인신호만 전송하는 방식이나 공용신호만 전송하는 방식이 더 좋은 성능을 가지는 것을 볼 수 있다. 하지만 채널 간 간섭 지수가 다소 커지는 부분(채널 간섭 계수가 0.5 이상의 보통 간섭 부분)에서부터는 HK 방식이 개인신호만 전송하는 방식이나 공용신호만 전송하는 방식 보다 더 좋은 성능을 가짐을 확인 할 수 있다.

그림 4는 개인신호만 전송하는 방식과 그림 3과같이 최적의 전력할당 비율 θ_p 를 적용한 HK 방식의 BER 성능을 비교 한다. 10^{-6} 이하의 BER을 얻기 위한 E_b/N_0 를 구하면, 개인신호만 전송하는 방식의 경우 간섭 계수 0.6, 0.7, 0.8일 때 각각 11.5dB, 14dB, 18dB이다. 반면 HK 방식은 이보다 각각 2.3dB, 4dB, 7dB 적은 9.2dB, 10dB, 11dB이다.

그림 3, 4의 성능은 다음과 같이 설명 할 수 있다. 채널 간 간섭 계수가 0.5 이하의 약한 간섭 채널에서

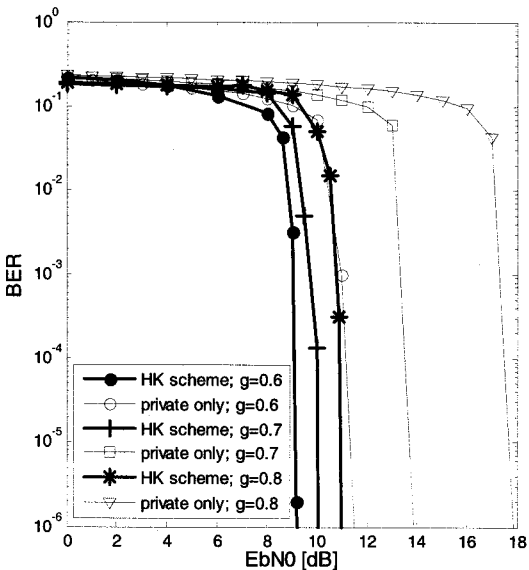


그림 4. 개인신호만 전송하는 방식과 HK 방식을 이용한 전송 실험의 간섭 계수에 따른 BER 성능 비교
Fig 4. BER performance comparison of private only and exhaustive experiment with interference coefficient.

HK 방식의 성능이 좋지 않은 이유는 간섭 신호의 영향이 크지 않기 때문에 간섭 신호(c_2)의 검출이 어렵다. 본 논문에서는 개인신호와 공용신호를 항상 동일한 전송률로 보낸다. 따라서 순차적 간섭 제거 방식에서 개인신호 p_1 의 검출을 위해 각각 수신되어오는 공용신호 c_1 과 c_2 을 먼저 검출한 뒤 이를 이용하여 마지막에 p_1 을 검출하므로 간섭 계수가 낮을 때인 약한 간섭 채널 환경에서 신호를 분리하여 전송하는 HK 방식보다는 그렇지 않은 방식이 성능이 좋게 나온다. 반면에 간섭 계수가 0.5이상인 중간 간섭 채널에서는 간섭 공용신호 c_2 가 첫 번째 수신기에서 약한 간섭 채널보다 크게 수신되기 때문에 검출이 좋게 된다. 하지만 개인신호만 전송하는 방식과 공용신호만 전송하는 방식은 간섭이 커지면서 자연스럽게 성능이 좋지 않게 되고 간섭 계수 0.5 이상에서는 HK 방식의 성능이 더 좋게 된다.

4.2 최적의 전력 할당

앞 절에서 살펴보았듯이 최적의 전력할당을 한 HK 방식은 중간 간섭 채널인 채널 이득 0.5 이상에서 개인신호만 전송하는 방식이나 공용신호만 전송하는 방식보다 좋은 성능을 나타낸다. 최적의 전력할당을 하기 위해 식 (10)에서 θ_p 를 일일이 변화시켜가면서 실험을 하여야 한다. 따라서 전송 조사의 특성상 최적의 값을 찾기 위해 많은 실험을 해야 하고 이에 따라 상당히 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 그래서 HK 방식의 최적의 전력할당 θ_p 를 간단하게 찾는 것이 필요하다.

HK 방식에서는 순차적 간섭제거를 통해 공용신호를 제거하고 개인신호를 검출한다. 그래서 공용신호가 완전히 제거된 상태에서 개인신호만 남아 있다고 가정한다. 부호화율 R 인 두 개인신호를 전송할 때, 특정한 간섭 계수 g 에서 비트 오류율 10^{-6} 이하로 달성 하는데 필요한 E_b/N_0 를 실험을 통해 구할 수 있다. 이로부터 부호화율 R 을 이용하여 심볼 에너지와 관련된 $E_s/N_0 = RE_b/N_0$ 를 구한다. 이렇게 구한 문턱값

(threshold)을 $\left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{TH}^{(g)}$ 라 하자. 즉, 이 값은 간섭계수

g 일 때 개인신호를 온전하게 검출할 수 있는 최소의 E_s/N_0 값의 의미를 갖는다. $\left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{TH}^{(g)}$ 는 HK 방식의 송신기에서 개인신호의 부호화율을 이용하여 개인신호

만을 이용한 방식을 통해 오류율 10^{-6} 이하를 달성하기 위해 필요한 E_s/N_0 의 값을 나타낸다. 여기서 $\left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{TH}^{(g)}$ 는 간섭 계수 g 에 따라 값이 다르고 일반적으로 보통 간섭 채널 환경에서 간섭 계수가 커질수록 높은 값을 가진다.

HK 방식에서는 신호를 검출 할 때 공용신호 c_1 과 c_2 를 순차적으로 검출한 후 개인신호 p_1 을 검출 하게 된다. 즉, 개인신호 p_1 는 공용신호 c_1 와 c_2 오류에 종속적이다. 제안하는 전력할당 방식은 개인신호에 복호 가능한 최소값 $\left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{TH}^{(g)}$ 을 할당해주고, 남은 전력은 공용신호에 모두 할당 해준다. 개인신호의 전력 비율은 문턱값을 이용하여 다음과 같이 할당하게 된다.

$$\theta_p(g) = \left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{TH}^{(g)} \frac{N_0}{E_s} \quad (11)$$

E_s 의 값을 증가 시키면서 실험을 할 때 E_s 가 낮

을 때에는 대부분의 전력은 개인신호에 할당 되어 c_1 과 c_2 신호의 전력은 각각의 신호가 검출되기에 충분치 않아서 성능이 나오지 않는다. 하지만 E_s 의 값을 증가시키며 실험을 하여 c_1 과 c_2 신호의 전력이 신호가 검출되기에 충분하게 될 때부터 c_1 , c_2 와 p_1 모두 신호 검출이 가능 하게 된다.

그림 5는 채널 간섭 계수 0.6, 0.7 그리고 0.8에서의 제안 방식(11)과 전수조사 방식을 비교한 그림이다. θ_p 를 전수조사 방식을 통해 구할 때에는 특정 E_b/N_0 에서 BER이 10^{-6} 이하가 되도록 하는 θ_p 를 모두 선택하였다. 전수조사 방식의 경우 특정 E_b/N_0 에 대하여 θ_p 가 어떤 구간 내에 있을 때, 즉 아래 그래프와 위 그래프 중간 영역에 있을 때 BER이 10^{-6} 이하를 달성 한다. 그리고 제안 방식은 그림 5와 같이 전수조사 방식의 아래쪽 영역을 달성하는 것을 볼 수 있다. 아래쪽 영역인 이유는 제안하는 방식이 개인신호만 전송할 때 BER이 10^{-6} 이 되는 가장 작은 E_b/N_0 를 구하고 이를 이용해 θ_p 를 구하기 때문이다. 결국 제안하는 방식을 이용하면 전수조사 방식의 낮은 오류 영역의 아래 경계를 간단하게 구할 수 있다.

V. 결 론

간섭 채널 환경에서 통신을 할 때 최적의 전송 방식은 간섭의 정도에 따라 개인신호만 전송하는 방식, 공용신호만 전송하는 방식, HK 방식 등으로 달라진다. 특히 채널 간섭 계수가 0.5 이상 1 미만의 중간 간섭 환경에서, 개인신호와 간섭신호의 전송률을 같게 두는 HK 방식의 성능이 개인신호만 전송하는 방식 및 공용신호만 전송하는 방식보다 성능이 좋다는 것을 확인 하였다. 그러나 이때 최적의 HK 방식의 성능을 얻기 위해서 개인신호의 전력 할당 비율인 θ_p 를 0에서 1까지 변화시키며 일일이 구해야 한다. 제안하는 전력 할당 방식은 개인신호의 전력 할당 비율인 θ_p 을 개인신호만을 전송하는 방식에서 복호 가능한 최소한의 값 $\left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{TH}^{(g)}$ 을 이용하여 설정하고, 남은 전력을 공용신호에 할당하는 것이다. 이는 공용신호에 복호 가능한 충분한 전력이 되면 공용신호 뿐 아니라 개인신호도 성공적으로 검출이 된다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 방식이 HK 방식에서 간단하게 전력을 할당하는 방법임을 검증하였다.

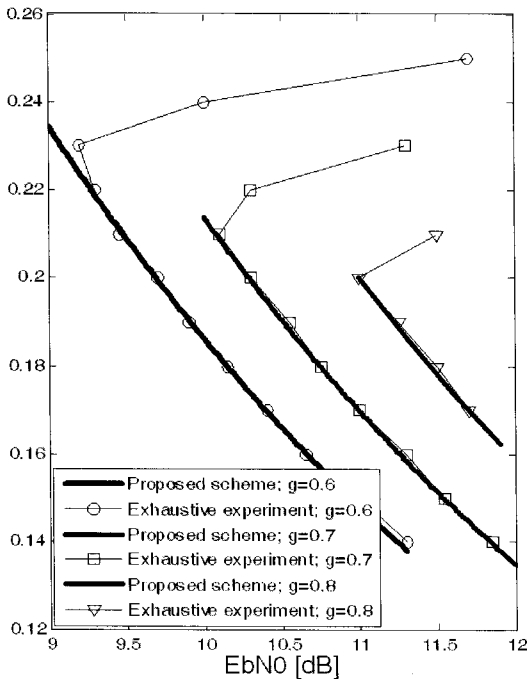


그림 5. 채널 간섭 지수 변화에 따른 전수조사 방식과 제안 방식의 비교

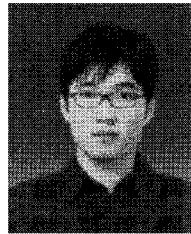
Fig 5. Comparison of proposed scheme to exhaustive scheme with interference coefficient variation.

참 고 문 헌

- [1] M. H. Costa, "On the Gaussian interference channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.IT-31, No.5, pp.607-615, Sept. 1985.
- [2] V.R. Cadambe and S.A. Jafar, "Interference alignment and degrees of freedom of the K-user interference channel", *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.54, pp.3425-3441, Aug. 2008.
- [3] T. S. Han and K. Kobayashi, "A new achievable rate region for the interference channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.IT-27, No.1, pp.49-60, Jan. 1981.
- [4] R. Etkin, D. Tse, and H. Wang, "Gaussian interference channel capacity to within one bit," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.54, pp.5534-5562, Dec. 2008.
- [5] Z. Zheng and T. M. Duman, "Capacity-approaching turbo coding and iterative decoding for relay channels," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.53, No.11, pp.1895-1905, Nov. 2005.

백 두 진 (Du-jin Paek)

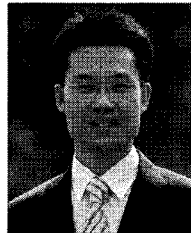
준회원



2009년 8월 인하대학교 정보통신 공학과 학사
2009년 9월~현재 인하대학교 정보통신 공학과 석사
<관심 분야> 통신공학, MIMO

박 대 영 (Daeyoung Park)

중신회원



2004년 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부 박사
2004년~2007년 삼성전자 책임 연구원
2007년~2008년 University of Southern California, 방문 연구원

2008년~현재 인하대학교 교수

<관심분야> 차세대 이동통신, 무선 자원 할당, 다중 안테나 시스템