논문 2010-2-7

일반화된 K 페이딩 채널에서 디지털 워터마킹 기법을 이용한 부가데이터 전송 기법

Additional Data Transmission Scheme with Digital Watermarking Method in Generalized-K Fading Channel

김주찬*, 김진영*

Joochan Kim and Jin Young Kim

요 약 본 논문에서는 디지털 워터마킹 기법을 이용하여 부가데이터를 전송하기 위해 일반화된 K 페이딩 채널에서의 채널용량 수식을 유도하였다. 대역확산 워터마킹 기법(Spread Spectrum Watermarking: SSW)은 디지털 워터마킹 기법 중의 하나로 무선 채널에서 잡음에 대해 강인한 특성을 지니며, 수신단에서의 신호 검출이 상관기에 의해 간단히 이루어지기 때문에 널리 사용되는 방식이다. 대역확산 워터마킹 기법에 의해 생성된 부가데이터를 무선통신 시스템에 적용하기 위해서는 워터마킹 신호가 무선 채널에 의해 받는 영향에 대한 연구가 필수적으로 요구된다. 모의실험 결과로부터 대역확산 워터마킹 시스템의 채널용량이 HWR, WNR, fx, 그리고 PN 시퀀스의 길이에 따라 변화함을 확인하였고, 또한 적정 데이터를 전송하기 위하여 필요한 HWR과 WNR의 레벨을 수식으로부터 결정할 수 있음을 보였다. 본 논문의 결과는 PN 시퀀스를 이용하는 일반적인 대역확산 워터마킹 시스템에 적용할 수 있다.

Abstract In this paper, we derive the channel capacity in order to transmit an additional data by using digital watermarking method in generalized-K fading channel. Spread spectrum watermarking is one of the digital watermarking methods which is the most promising technique due to it's very robustness to the channel noise and easy achieving of the signal detection by correlators at the receiver. It is important to analyze the channel capacity to transmit an additional data through wireless channel because the transmitted data would be affected by the channel fading effects. From the results, we confirm that the channel capacity of the SSW system can be determined by the HWR, WNR, PN length and host sampling frequency. Also, we verified that the level of HWR and WNR can be determined by the derived capacity formula. The results of this paper can be applied to general spread spectrum watermarking system.

Key Words : Channel capacity, Generalized-K fading, Multipath, Shadowing, Spread spectrum watermarking

Ⅰ. 서 론

디지털 워터마킹 기법은 디지털 오디오, 비디오, 그래픽, 텍스트 등의 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 저작권 보호를 위하여 콘텐츠에 인증 기능을 부여함으로써 불법 복제 및 배포를 방지하게 하는 기술이다. 디지털 워터마킹 기술은 워터마크 생성, 삽입 및 검출 단계 기술로 크게 구분되며, 다양한 목적에 맞는 다양한 방식의 기법이 연구되고 있다[1].

디지털 워터마킹 기법 중 널리 사용되는 방식은 대역확산 워터마킹 기법(Spread Spectrum Watermarking: SSW)이다. 이 방식은 특히 무선 채널에서 잡음에 대해 강인한 특성을 지니며 신호의 보안성이 우수하고, 수신단에서의 신호 검출이 상관기에 의해 간단히 이루어지기

*정회원, 광운대학교 전파공학과
접수일자 2010.3.4, 수정일자 2010.4.12

때문에 널리 사용되는 방식이다.

최근에 디지털 보안 분야에서 사용되던 워터마킹 기법을 이동통신 및 방송의 영역에 접목하려고 하는 시도들이 활발히 연구되고 있다[2]. 워터마킹 기법을 디지털 콘텐츠의 저작권 보호 목적뿐만 아니라, 기존의 데이터에 영향을 끼치지 않으면서 추가적인 데이터를 보내게 되기 때문에 한정된 주파수 자원 안에서 전송효율을 증가시킬 수 있다. 최근까지는 워터마킹 기법이 디지털 방송 시스템에서 송신기 식별기술을 위한 연구에 국한되어 있지만, 향후 다양한 디지털 무선통신 시스템에 셀 내의 사용자들에게 특정 서비스 정보를 전달하는 유용한 방법을 제공할 것으로 예상된다. 이러한 대역확산 워터마킹 기법에 의해 생성된 부가데이터를 무선통신 시스템에 적용하기 위해서는 워터마킹 신호가 무선 채널에 의해 받는 영향에 대한 연구가 필수적으로 요구된다.

따라서 본 논문에서는 대역확산 워터마킹 시스템의 무선 채널에 의한 영향을 분석하기 위하여, 일반화된 K 페이딩 채널에서 제안된 시스템의 채널용량 수식을 근사화하여 유도하고 그 결과를 바탕으로 모의실험을 수행하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서 대역확산 워터마킹 시스템에 대해 소개한 후, Ⅲ장에서 일반화된 K 페이딩 채널에서의 채널용량 수식을 유도한다. Ⅳ장에서 유도된 수식을 바탕으로 모의실험 및 결과를 설명하고, 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 대역확산 워터마킹 시스템

그림 1은 대역확산 워터마킹 시스템의 구조도를 나타낸다. 대역확산 워터마킹 시스템의 송신부에서는 워터마킹 신호가 PN(Pseudo Noise) 시퀀스에 의해 대역확산되어 기존의 호스트 신호와 더해져서 채널을 통해 전송되게 된다. PN 시퀀스는 백색잡음과 유사한 통계적 특성을 갖도록 만들어진 주기 신호로 우수한 자기상관 특성을 가지며 간섭에 대한 영향이 적다. 대역확산된 워터마킹 신호는 작은 크기로 삽입되어도 PN 시퀀스의 자기상관 특성에 의해 데이터 추출이 가능하다.

전송된 신호는 무선채널의 특성에 의해 왜곡되어 수신되고, 수신된 신호는 분할기(Splitter)를 통해 호스트 신호 복원 부분과 워터마킹 복원 부분으로 나뉘게 된다. 워터마킹된 신호는 상관기를 통하여 피크 값을 계산하게 되고, 계산된 피크 값을 임계값과 비교하여 워터마킹 데이터를 복원하게 된다.

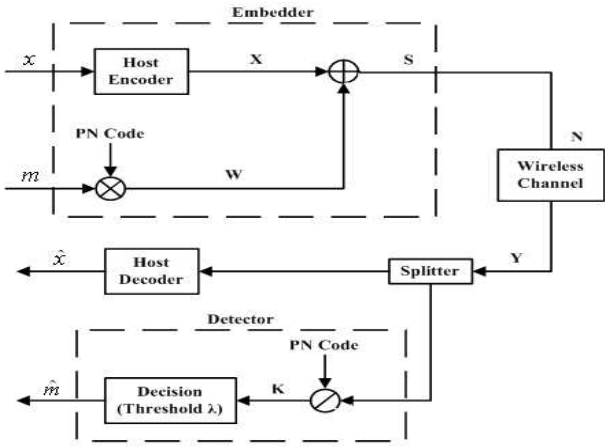

그림 1. 대역확산 워터마킹 시스템 구조도
Fig. 1. Structure of spread spectrum watermarking system

Ⅲ. 채널용량 분석

본 논문에서는 다중경로 페이딩과 새도잉을 함께 고려한 일반화된 K 분포에서 대역확산 워터마킹 시스템의 채널용량을 유도한다. 이를 위하여 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널에서의 대역확산 워터마킹 시스템의 채널용량을 살펴보면 다음과 같다[3].

$$C_{SSW}^{AWGN} = \frac{f_x}{2N}\log_2\left(1+\frac{2N^2}{(HWR+1/WNR)f_x}\right) \quad (1)$$

여기에서 f_x는 호스트 샘플링 주파수, N은 대역확산기에 사용된 PN 시퀀스의 길이, HWR은 호스트 대 워터마킹 신호전력비 그리고 WNR은 워터마킹 신호다 잡음 전력비를 나타낸다. 워터마킹 시스템 측면에서 보면 전송된 신호가 무선채널에 의해 영향을 받는 변수는 오직 수신되는 WNR이기 때문에 이를 γ로 볼 수 있다.

페이딩 채널에서 평균 채널용량은 해당 페이딩 모델의 확률밀도함수를 이용하여 다음 수식에 의해 결정된다[4].

$$\overline{C} = B\int_0^\infty \log_2(1+\gamma)p_\gamma(\gamma)d\gamma \quad (2)$$

본 논문에서 적용된 일반화된 K 분포 채널은 다중경로와 새도잉 효과를 동시에 고려한 합성페이딩 모델이다. 무선채널을 통과하여 수신된 신호의 크기는 다중경로 페이딩에 의해 영향을 받는데 여기에는 주로 Nakagami-m 페이딩 모델이 사용된다. Nakagami-m 페이딩 모델의 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p_{\gamma/\overline{\gamma}}(x) = \left(\frac{m}{\overline{\gamma}}\right)^m \frac{x^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left(-m\frac{x}{\overline{\gamma}}\right), \ x \geq 0, \ m \geq 0.5. \quad (3)$$

여기에서 m은 Nakagami 다중경로 페이딩 변수이고 이 값에 따라 Gaussian($m = 0.5$), Rayleigh ($m = 1$), Rician ($m > 1$), 왜곡 없는 채널 ($m = \infty$)을 모두 표현할 수 있기 때문에 널리 사용된다. 또한 새도잉에 의한 평균전력의 변화는 Log-normal 분포에 따라 모델링 되는데 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p_{\overline{\gamma}}(y) = \left(\frac{k}{\overline{\gamma}}\right)^k \frac{y^{k-1}}{\Gamma(k)} \exp\left(-k\frac{y}{\overline{\gamma}}\right), \ y \geq 0, \ k > 0. \quad (4)$$

여기서 k는 새도잉 변수이며 이 값을 변경함에 따라 Log-normal로부터 Gaussian 분포를 모두 표현할 수 있다. Nakagami-m 모델과 Log-normal 모델 모두 채널 변수가 증가함에 따라 채널의 상태가 더 좋음을 표현한다.

한편 두 모델을 모두 고려한 확률밀도함수는 다음 수식에 의해 결정된다.

$$p_\gamma(x) = \int_0^\infty p_{\gamma/\overline{\gamma}}(x/y)p_{\overline{\gamma}}(y)dy. \quad (5)$$

(3)번 수식과 (4)번 수식을 (5)번 수식에 대입하면 일반화된 K 분포에서의 확률밀도함수가 다음과 같이 주어진다[5].

$$p_\gamma(\gamma) = \frac{a^{\beta+1}}{2^\beta\Gamma(m)\Gamma(k)}\gamma^{\frac{\beta-1}{2}} K_\alpha(a\sqrt{\gamma}), \quad (6)$$

여기에서 $\alpha = k-m$, $\beta = k+m-1$, $a = \sqrt{4km/\overline{\gamma}}$, 그리고 $\overline{\gamma}$는 평균수신 WNR이다. 또한 $K_\alpha(x)$는 변형된 2종의 α차 베셀함수이며 $\sqrt{\gamma} = x$으로 변환 후 [6, 8.451.6]에 의하여 식 (7)과 같이 근사화 할 수 있다.

수식 (7)을 수식 (6)에 적용한 후 AWGN 채널에서의 채널용량 수식에 곱하여 적분을 취하면 일반화된 K 페이딩 모델에서의 대역확산 채널용량 식을 다음의 식 (8)과 같이 얻을 수 있다.

식 (8)의 마지막 줄의 적분 항은 로그 특성에 의해 분자와 분모를 나누어 분리하여 계산할 수 있으며, 분리된 적분 항은 다시 [6, 2.321.2]를 이용하여 부분적분을 수행하면 식 (9)와 같이 정리 할 수 있다. 여기서 $RA_{j,l}(a)$와 $RB_{j,l}(a)$는 식 (10)에 나타낸 것과 같고, x의 지수 $n+m-l-j$의 상태에 따라 [6, 3.356.1/2]을 이용하여 근사화 할 수 있다.

$$K_\alpha(ax) = \sqrt{\frac{\pi}{2ax}}\exp(-ax)\sum_{l=0}^{n-m}\frac{1}{(2ax)^l}\frac{\Gamma(n-m+1+l)}{\Gamma(n-m+1-l)\Gamma(l+1)}. \quad (7)$$

$$\begin{aligned}\overline{C}_{SSW}^K &= \frac{f_x}{2N}\int_0^\infty \log_2\left(1+\frac{2N^2}{(HWR+1/x^2)f_x}\right)\times\frac{a^{\beta+1}x^{\beta-1}}{2^\beta\Gamma(m)\Gamma(k)}\sqrt{\frac{\pi}{2ax}} \\ &\quad\times\exp(-ax)\left[\sum_{l=0}^{n-m}\frac{1}{(2ax)^l}\frac{\Gamma(n-m+1+l)}{\Gamma(n-m+1-l)\Gamma(l+1)}\right]2xdx \\ &= \frac{f_x}{2N}\frac{a^{\beta+0.5}\sqrt{\pi}}{2^{\beta-0.5}\Gamma(m)\Gamma(k)\ln 2}\sum_{l=0}^{n-m}\frac{1}{(2a)^l}\frac{\Gamma(n-m+1+l)}{\Gamma(n-m+1-l)\Gamma(l+1)}\times \\ &\quad\int_0^\infty \ln\left(\frac{(f_xHWR+2N^2)x^2+fx}{f_xHWRx^2+f_x}\right)x^{n+m-l-1}\exp(-ax)dx.\end{aligned} \quad (8)$$

$$\overline{C}_{SSW}^K = \frac{f_x}{2N}\frac{a^{\beta+0.5}\sqrt{\pi}}{2^{\beta-0.5}\Gamma(m)\Gamma(k)\ln 2}\sum_{l=0}^{n-m}\frac{1}{(2a)^l}\frac{\Gamma(n-m+1+l)}{\Gamma(n-m+1-l)\Gamma(l+1)}\times \sum_{j=0}^{n+m-l-1}\frac{2(n+m-l-1)}{a^{j+1}}[RA_{j,l}(a)-RB_{j,l}(a)]. \quad (9)$$

$$RA_{j,l}(a) = \int_0^\infty \frac{x^{n+m-l-j}}{x^2+\frac{f_x}{f_xHWR+2N^2}}\exp(-ax)dx \quad (10)$$
$$RB_{j,l}(a) = \int_0^\infty \frac{x^{n+m-l-j}}{x^2+\frac{1}{HWR}}\exp(-ax)dx,$$

Ⅳ. 모의실험 및 결과

그림 2는 호스트 샘플링 주파수에 따른 채널용량 대 PN 시퀀스 길이 그래프를 보여준다. 그림으로부터 해당 호스트 샘플링 주파수별 최대의 채널용량을 갖는 특정 PN 시퀀스의 길이가 있음을 알 수 있다.

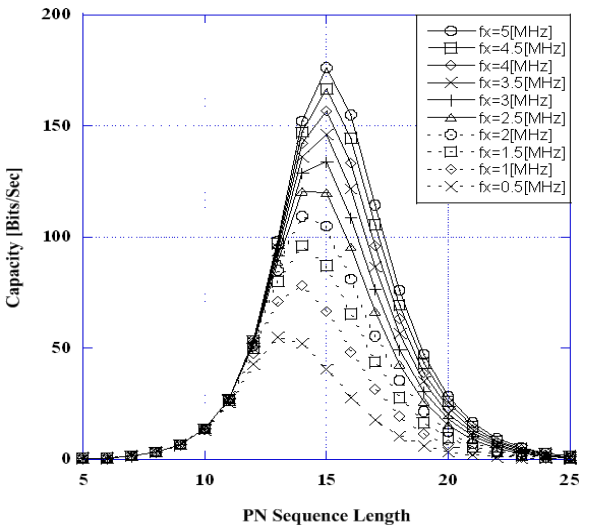

그림 2. 일반화된 K 페이딩 채널에서의 fx별 PN길이에 따른 채널용량(HWR=20[dB], WNR=0[dB], (n,m)=(1,1))

Fig. 2. Channel capacity versus PN sequence length according to fx in generalized-K fading channel

그림 3은 채널의 새도잉변수와 다중경로변수 조합 (n, m)에 따른 채널용량 대 평균수신 WNR의 그래프를 보여준다. 채널을 결정하는 파라미터의 값이 증가할수록 채널상태가 좋아지며 따라서 채널용량 역시 증가함을 보여준다.

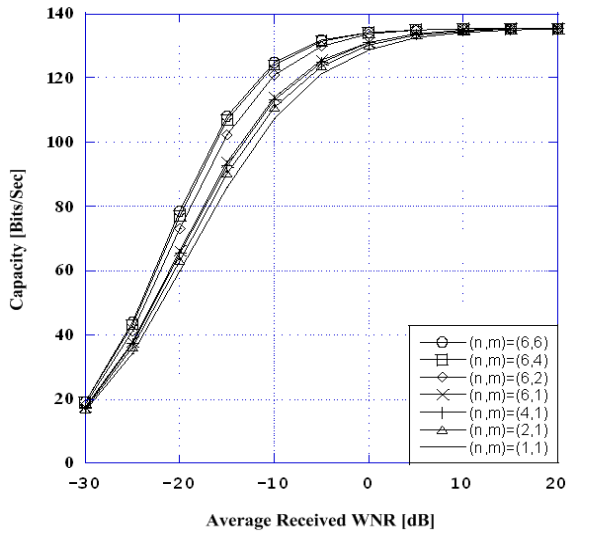

그림 3. (n,m)조합에 따른 채널용량 대 평균수신 WNR 그래프 (fx=3[MHz], HWR=20[dB], PN=14[bits])

Fig. 3. Channel capacity versus average WNR according to (n,m) in generalized-K fading channel

그림 4는 HWR에 따른 채널용량 대 평균수신 WNR의 그래프를 보여준다. 대역확산 워터마킹 시스템을 실제 적용하기 위해서는 적정 HWR의 레벨을 선택하는 것이 중요하다. 그 이유는 대역확산 워터마킹 기법의 원래 목적이 호스트 시스템에 최대한 영향을 주지 않으면서 신뢰할 만한 수준의 데이터를 얼마만큼 보낼 수 있는지에 있기 때문이다. 그림에서 보이는 바와 같이 HWR의 레벨이 증가할수록 대역확산 시스템의 채널용량이 급격히 줄어듦을 알 수 있다. 따라서 원하는 만큼의 추가 데이터를 전송하기 위해서는 적정 HWR과 이에 따른 평균수신 WNR을 고려하여 한다.

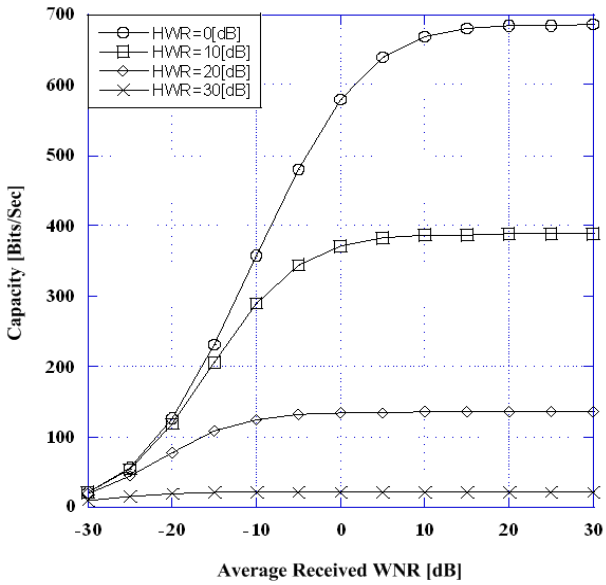

그림 4. HWR에 따른 채널용량 대 평균수신 WNR 그래프 (fx=3[MHz], PN=14[bits])

Fig. 4. Channel capacity versus average WNR according to HWR in generalized-K fading channel

그림 5는 본 논문에서 유도된 근사화된 채널용량의 수식의 정확성을 확인하기 위하여 각기 다른 (HWR, WNR)조합에서 채널용량 대 호스트 샘플링 주파수 그래프를 보여준다. 그림으로부터 유도된 수식이 이론적 수치와 일치함을 확인 할 수 있다.

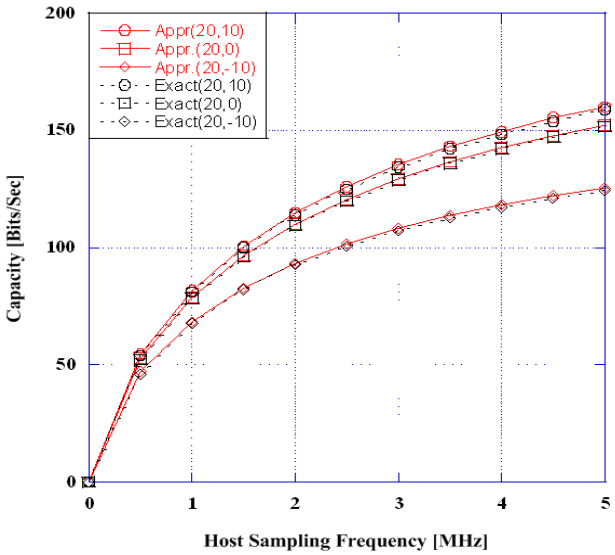

그림 5. (HWR,WNR) 조합에 따른 채널용량 대 호스트 샘플링 주파수 그래프 (PN=14[bits])

Fig. 5. Channel capacity versus fx according to (HWR, WNR) in generalized-K fading channel

V. 결 론

본 논문에서는 대역폭을 추가적으로 사용하지 않으면서 적은양의 전력을 이용하여 부가데이터를 전송하는 대역확산 워터마킹 시스템의 채널용량을 수식적으로 근사화 하였다. 근사화된 수식을 바탕으로 수행된 모의실험으로부터 대역확산 워터마킹 시스템의 채널용량이 HWR, WNR, fx, 그리고 PN 시퀀스의 길이에 따라 변화함을 확인하였고, 또한 적정 데이터를 전송하기 위하여 필요한 HWR과 WNR의 레벨을 수식으로부터 결정할 수 있음을 보였다. 유도된 수식의 결과와 이론적 수치와의 비교를 통하여 유도된 수식이 일치됨을 확인하였다. 본 논문의 결과는 PN 시퀀스를 이용하여 대역 확산하는 일반적인 워터마킹 시스템에 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Academic Pr, San Francisco, CA, 2002

[2] J. N. Bae, J. S. Cha, and J. Y. Kim, "Novel TxID scheme of ternary ZCD code with watermarking for T-DMB systems," in proc. on Int' Conf. on Consumer Elec., Jan. 2010

[3] S. Sedghi, M. Khademi, and N. Cvejic, "Analysis of channel capacity of spread spectrum audio watermarking system," in Proc. on Int' Symp. on Intelligent Signal Processing and Commun., pp.175-178, Dec. 2006

[4] W. C. Y. Lee, "Estimate of channel capacity in Rayleigh fading environment," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol.39, no. 3, pp.187-190, Aug. 1990

[5] P. S. Bithas, N. C. Sagias, P. T. Mathiopoulos, G. K. Karagiannidis, and A. A. Rontogiannis, "On the performace analysis of digital communications over generalized-K fading channels," IEEE Commun. Letters, vol. 10, no. 5, pp. 353-355, May 2006

[6] I. S. Gradshteyn, and I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series, and Products, 7th ed., Academic Pr, San Diego, CA, 2007

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

저자 소개

김 주 찬(정회원)

- 2007년~2008년 아시아나 IDT RFID/USN연구소 주임연구원
- 2004년~현재 광운대학교 전파공학과 박사과정

<주관심분야 : 이동무선통신시스템>

김 진 영(정회원)

- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트웍 연구소 책임연구원
- 2001년~현재 광운대학교 전파공학과 부교수
- 2009년 현재 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>