

# ITS 시스템에서 긴급교통정보를 위한 부가정보 전송기법

Additional Information Transmission Scheme for Urgent Transport Message in Intelligent Transportation Systems

김주찬, 김진영

광운대학교 전파공학과

Key Words : Digital Watermarking, Channel Capacity, Spread Spectrum Watermarking

## 목 차

- I. 서론
- II. 시스템 모델
- III. 채널용량 분석
- IV. 모의실험 결과
- V. 결론

## I. 서론

최근 급격한 IT기술의 발달로 인하여 이를 지능형 교통 시스템 (ITS: Intelligent Transportation Systems)에 적용하려는 노력들이 증가하고 있다. IT기술 중에서도 무선채널을 이용한 통신방식은 이미 1990년대 중반부터 상용화된 이동통신 시스템의 발전으로 인하여 다양한 어플리케이션을 가능케 하는 핵심 기술이다. 특히 ITS망과 같이 그 범위가 전국적인 규모를 갖는 큰 시스템에서 무선통신방식을 이용한 다양한 교통정보를 전달하는 방식은 시스템의 운용과 서비스에 상당한 이점이 있다. ITS 서비스는 그 목적에 따라 ATMS (Advanced Traffic Management System), ATIS (Advanced Tranceiver Information System) 그리고 APTS (Advanced Public Transportation System) 등으로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 새로운 정보망을 전국적으로 구축하기에는 상당한 비용과 노력들이 수반되는 부담이 있다.

한편, 기존의 시스템에 디지털 워터마킹 기법을 이용하여 부가정보를 전송하고자 하는 시도들이 있다 [1]. 디지털 워터마킹 기법은 원래 디지털 비디오/오디오, 영상, 텍스트 등의 디지털 콘텐츠의 저작권 보호 및 불법복제 방지용으로 생겨난 기술이다. 디지털 워터마킹 기법은 적용영역에 따라 다양한 방식이 존재하는데, 그 중에서 대역확산 변조방식을 이용한 대역확산 워터마킹 (SSW: Spread Spectrum Watermarking) 기법은 잡음 환경에서 강인한 특성으로 인하여 널리 사용되는 방식 중 하나이다. 또한 대역확산 방식을 이용하여 전송된 신호는 수신단에서 간단한 상관기에 의해서 검출이 가능하므로 비교적 적은 비용으로 구현이 가능하다.

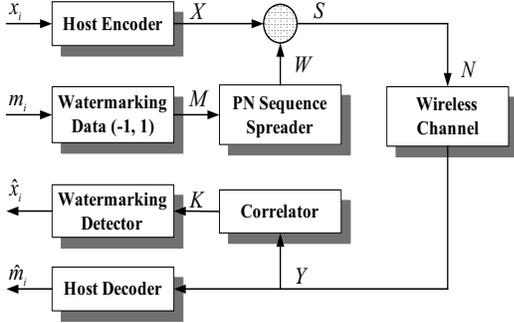
대역확산 변조를 이용한 워터마킹 방식은 고속의 데이터를 전송하는 시스템 보다는, 이를 이용하여 저속의 데이터를 전송하는데 특히 효과적인 방식이다. ITS 시스템에 이 기법을 적용하게 되면 터널구간, 산사태 위험지역 등과 같은 제한된 국지적 범위에서의 긴급교통정보를 전송하는데 추가적인 새로운 망없이 적용이 가능하다. 대역확산 워터마킹 기법을 적용하기 위해서는 기존에 구축되어 있는 호스트 시스템이 필요한데, ITS 시스템의 특성상 운전자들이 라디오 방송 또는 T-DMB (Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting)을 주행 중에 청취 또는 시청하는 경우가 많기 때문에 이러한 시스템을 호스트로 둘 수 있다. 워터마킹 기법의 특성상 기존의 호스트 시스템에 아주 적은 전력을 사용하여 저속의 데이터를 전송가능하기 때문에 이러한 어플리케이션의 가능성은 충분하다.

이를 위해서는 적용된 대역확산 워터마킹 기법을 이용하여 얼마만큼의 정보를 신뢰성 있게 전송할 수 있는지에 대한 채널용량 분석과 적정한 호스트-워터마킹 전력비, 무선채널에 의한 영향 그리고 적용하는 확산코드의 적정 길이 등에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 ITS 시스템에서 워터마킹 기법을 이용하여 부가정보를 전송하기 위한 연구를 수행하기 위하여 대역확산 워터마킹 기법의 채널용량을 수식적으로 근사화 하여 유도하고 모의실험을 수행함으로써 결과를 검토하도록 한다.

본 고의 구성은 II장에서 워터마킹 기법을 이용한 저속의 정보를 전송하기 위한 시스템 모델을 간략히 알아본 후, III장에서 채널용량식의 유도과정을 설명한다. IV장에서는 유도된 수식을 바탕으로 하여 수행된 모의실험을 결과를 살펴보고,

마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델



<그림 1> 대역확산 워터마킹 부가정보 전송 시스템

그림 1은 대역확산 워터마킹 기법을 이용한 부가정보 전송 시스템의 구조도를 나타낸다. 기존의 시스템인 호스트 부분과 워터마킹 데이터를 발생하는 워터마킹 생성기로 구성된다. 워터마킹 생성기는 추가데이터를 발생시키는 부분과 PN(Pseudo Noise) 시퀀스를 이용하여 워터마킹 신호를 대역확산 시키는 확산기를 포함한다. 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. 워터마킹 신호는 PN 코드를 이용하여 대역 확산되고 호스트의 신호에 더해져 무선채널을 통하여 전송되게 된다.

전송된 신호는 무선채널을 통과하는 동안 채널효과에 의해 왜곡되어 수신된다. 수신된 신호는 수신단에서 상관기를 통하여 송신단에서 사용된 PN 시퀀스를 찾아내게 되고, 찾아낸 PN 시퀀스를 이용하여 워터마킹된 신호를 복원한다.

## III. 채널용량 분석

무선통신 시스템에서 신호의 전송매질은 무선채널이기 때문에 이를 고려한 시스템의 채널용량을 분석하는 것이 요구된다. 무선채널은 여러 가지 변수에 의하여 영향을 받기 때문에 다양한 모델이 존재한다. 무선채널을 분류하는 일반적인 기준은 주파수 선택적/비선택적 채널 구분이다. 주파수 비선택적 채널은 다시 다중경로 페이딩과 새도잉 채널로 구분할 수 있다. 무선채널의 종류는 전파환경에 따라 다양한 모델이 존재하여 각 환경에 따른 통계적 분석을 가능하게 한다. 본 논문에서는 다중경로 페이딩과 새도잉 현상을 함께 고려한 K-분포 채널을 고려한다. 이 분포는 Rayleigh와 감마분포가 혼합된 형태로 특히, 페이딩 계수가 무한대로 갈 때 이 채널은 Rayleigh 분포와 같다. K-분포의 PDF는 다음과 같이 주

어진다 [2]

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

여기에서  $a = \sqrt{\frac{4k}{\gamma}}$  이고,  $\bar{\gamma}$ 는 평균 수신 SNR이며,  $\alpha = k-1$ 이고  $k$ 는 채널 분포에 관련된 인덱스이다. 또한  $K_\alpha(x)$ 는  $\alpha$ 차 제2종 변형 베셀함수이다.

한편, 대역확산 워터마킹 시스템의 AWGN 채널에서의 채널용량은 다음과 같이 주어진다 [3]

$$\bar{C}_{SSW} = \frac{f_x}{2N} \log_2 \left( 1 + \frac{2N^2}{(HWR+1/WNR)f_x} \right), \quad (2)$$

여기에서  $HWR$ 은 호스트-워터마킹 전력비,  $WNR$ 은 워터마킹-채널잡음 전력비,  $N=2^p-1$ ,  $p$ 는 PN 코드의 길이이다. 대역제한되고 일정한 전송 전력을 사용하는 시스템의 채널용량 수식은 다음과 같이 구할 수 있다 [4].

$$\bar{C} = B \int_0^\infty \log_2(1+\gamma) p_\gamma(\gamma) d\gamma. \quad (3)$$

마찬가지로, 대역확산 시스템의 채널용량도 수식 (3)과 같이  $WNR$ 을  $\gamma$ 로 바꾼 뒤 아래와 같은 형식으로 구할 수 있다.

$$\bar{C}_{SSW}^K = \frac{f_x}{2N} \int_0^\infty \log_2 \left( 1 + \frac{2N^2}{(HWR+1/\gamma)f_x} \right) \times \frac{a^{k+1}}{2^k \Gamma(k)} \gamma^{\frac{k-1}{2}} K_\alpha(a\sqrt{\gamma}) d\gamma. \quad (4)$$

수식 (4)를 풀기 위해서는 먼저 베셀함수에서  $\sqrt{\gamma}=x$ 로 치환한 후, [5, 8.451.6]을 이용하여 다음과 같이 근사화 한다.

$$K_\alpha(ax) = \sqrt{\frac{\pi}{2ax}} e^{-ax} \sum_{l=0}^{n-1} \frac{1}{(2ax)^l} \frac{\Gamma(n+l)}{\Gamma(n-l)\Gamma(l+1)}. \quad (5)$$

수식 (5)를 (4)에 대입하면 다음을 얻는다.

$$\bar{C}_{SSW}^K = \frac{f_x}{2N} \frac{a^{k+0.5} \sqrt{\pi}}{\Gamma(k) \ln 2} \sum_{l=0}^{n-1} \frac{1}{(2a)^l} \frac{\Gamma(n+l)}{\Gamma(n-l)\Gamma(l+1)} \times \int_0^\infty \ln \left( \frac{(f_x HWR + 2N^2)x^2 + f_x}{f_x HWR x^2 + f_x} \right) x^{n-l} e^{-ax} dx. \quad (6)$$

수식 (6)의 적분항은 로그의 특성을 이용하여 분자와 분모로 분리하여 따로 계산할 수 있는데 먼저 분자항을 살펴보면 다음과 같이 [5, 2.321.2]를 이용하여 부분적분을 수행한다.

$$\int_0^{\infty} \ln[(f_x HWR + 2N^2)x^2 + f_x] x^{n-l} e^{-ax} dx \quad (7)$$

$$= \sum_{j=0}^{n-l} \frac{2(n-l)}{a^{j+1}} \int_0^{\infty} \frac{x^{n-l-j}}{x^2 + \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2}} e^{-ax} dx$$

$$= \sum_{j=0}^{n-l} \frac{2(n-l)_j}{a^{j+1}} RA_{j,l}(a).$$

수식 (6)의 적분항의 분모항은 수식(7)과 같은 과정에 따라 다음과 같이 주어진다.

$$\int_0^{\infty} \ln(f_x HWR x^2 + f_x) x^{n-l} e^{-ax} dx \quad (8)$$

$$= \sum_{j=0}^{n-l} \frac{2(n-l)_j}{a^{j+1}} RB_{j,l}(a),$$

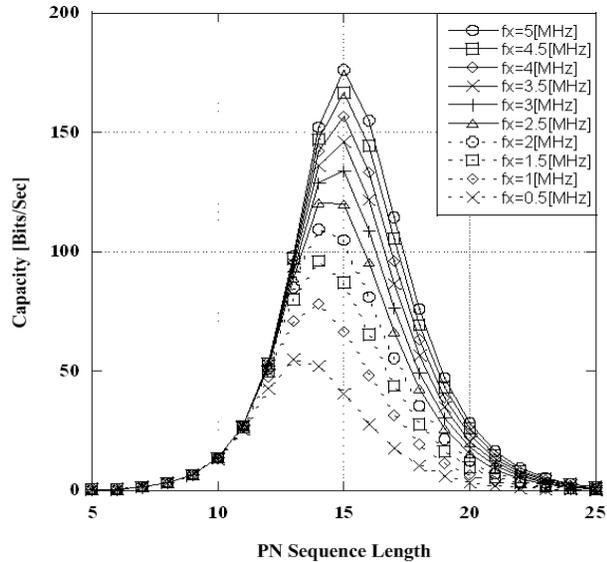
수식 (7)과 (8)에서  $RA_{j,l}(a)$ 와  $RB_{j,l}(a)$ 는 [5, 3.356.1/2]로부터 근사화 된다. 마지막으로 수식을 정리하면 대역확산 위터마킹 시스템의 채널용량식은 다음과 같이 근사화 된다.

$$\bar{C}_{SSW}^K = \frac{f_x}{N} \frac{a^{k+0.5} \sqrt{\pi}}{2^{k-0.5} \Gamma(k) \ln 2} \sum_{l=0}^{n-1} \frac{1}{(2a)^l} \frac{\Gamma(n+l)}{\Gamma(n-l)\Gamma(l+1)}$$

$$\times \sum_{j=0}^{n-l} \frac{2(n-l)_j}{a^{j+1}} [RA_{j,l}(a) - RB_{j,l}(a)]. \quad (9)$$

#### IV. 모의실험 결과

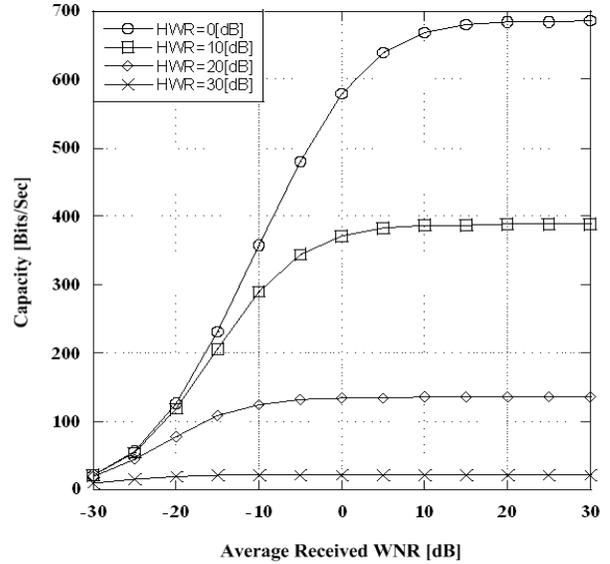
본 장에서는 III장에서 유도된 대역확산 위터마킹 시스템의 채널용량식을 바탕으로 수행된 모의실험 결과를 설명한다.



<그림 2> K-분포에서 채널용량 대 PN 시퀀스 길이 (HWR=20[dB], WNR=0[dB], k=1.5)

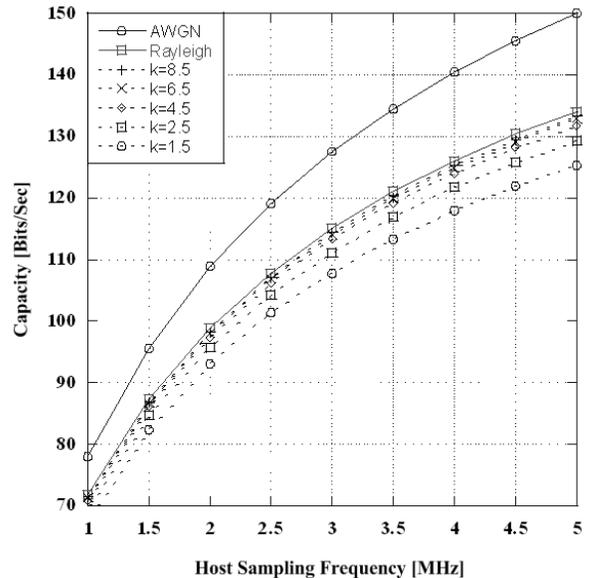
그림 2는 K-분포에서의 대역확산 위터마킹 시스템의 호스트 샘플링 주파수에 따른 채널용량 대 PN 시퀀스 길이를 보

여준다. 그림으로부터 PN 길이가 증가함에 따라 채널용량이 선형적으로 증가하는 것이 아니라, 특정 호스트 샘플링 주파수에서 최대 채널용량을 갖는 PN 길이가 정해져 있음을 알 수 있다. 또한 호스트 시스템의 샘플링 주파수가 증가 할수록 채널 용량이 증가함을 알 수 있다. 그러나 샘플링 주파수가 증가 할수록 늘어나는 채널용량의 증가분은 점점 줄어들고 있음을 확인 할 수 있다.



<그림 3> K-분포에서 채널용량 대 평균수신 WNR (fx=3[MHz], PN=14[bits], k=1.5)

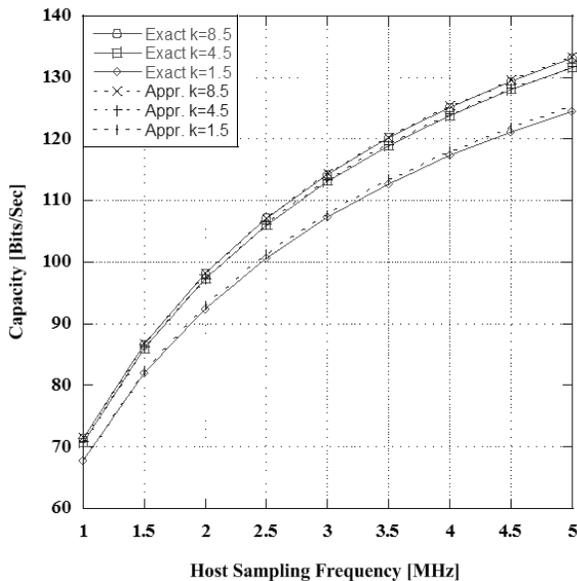
그림 3은 채널용량 대 평균수신 WNR의 관계를 보여준다. 대역확산 위터마킹의 시스템의 경우 호스트 신호와 위터마킹 신호 간의 전력비가 전체 시스템의 성능에 상당한 영향을 미치기 때문에 HWR의 레벨을 적용하고자 하는 시스템에 따라 적절히 선택하는 것이 중요하다. HWR을 20[dB]로 선정했을 경우 WNR=-10[dB] 이상에서 최대 채널용량으로 수렴함을 알 수 있다.



<그림 4> K-분포에서 채널용량 대 호스트 샘플링 주파수

(HWR=20[dB], WNR=-10[dB], PN=14[bits])

그림 4는 채널용량 대 호스트 샘플링 주파수 간의 관계를 보여 준다. 채널용량은 호스트 샘플링 주파수가 증가함에 따라 선형적으로 증가한다. 또한 그림으로부터 각 채널의 상태에 따라 채널 용량의 변화를 확인 할 수 있다. 수식 (2)를 바탕으로 AWGN 채널에서의 채널용량이 가장 큰 채널용량을 가지며 K-분포에서의 채널용량의 변화는 수식 (9)에서 채널 상태 변수인  $k$  값에 따라 확인 할 수 있다. 앞서 설명했듯이 K-분포는 Rayleigh 분포와 감마 분포가 혼합된 형태이며 채널 세도잉 파라미터인  $k$ 가 무한대로 증가할수록 Rayleigh 채널에 가까워짐을 확인 할 수 있다. 그림 4의 시스템 파라미터는 HWR=20[dB]이고 WNR=-10[dB] 그리고 PN=14[bits]인 환경에서 모의실험이 수행되었다. 만약 HWR이 더 작아지거나 또는 WNR이 더 커지면 상대적으로 AWGN 채널과 Rayleigh 채널 간의 채널용량 차가 적어지며 세도잉 파라미터  $k$ 에 따른 채널 증가분도 점점 적어지게 된다.



<그림 5> K-분포에서 채널용량 대 호스트 샘플링 주파수 (HWR=20[dB], WNR=-10[dB], PN=14[bits])

그림 5는 유도된 채널용량으로부터 얻어진 값과 이론적인 값의 비교를 위한 채널용량 대 호스트 샘플링 주파수 그래프를 보여준다. 채널 파라미터 값에 따른 채널용량의 증가와 함께 유도된 수식의 수치가 이론적인 값과 거의 근사되고 있음을 확인 할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 ITS 망에서 긴급교통정보 신호를 전송하는 기법으로써 기존의 라디오 및 T-DMB 시스템을 호스트로 하면서 디지털 워터마킹 기법 중의 하나인 대역확산 워터마킹 기법을 제안하였다. 시스템의 성능으로서 채널용량식을 근사

화하여 유도하였으며, 유도된 수식을 바탕으로 모의실험을 수행함으로써 호스트 시스템과 워터마킹 시스템 간의 전력비, 적용되는 PN 코드의 길이, 적용하는 호스트 시스템의 샘플링 주파수 간의 관계에 따라서 채널용량이 결정됨을 확인 하였다. 무선채널 모델로는 다중경로 페이딩과 세도잉 효과를 함께 고려한 K-분포 모델을 적용하였으며 채널 상태 변수에 따라 채널용량이 변화 됨을 확인 하였다. 또한 유도된 수식과 이론값을 비교함으로써 본 고에서 유도한 근사식이 제대로 근사화 되었음을 보였다.

본 고에서 제안한 대역확산 워터마킹 시스템을 적용한 긴급교통정보 전송기법은 기존에 설치되어 있는 다양한 시스템에서 간단히 적용할 수 있고 그 비용 또한 새로운 시스템을 적용하는 것에 비하여 상당히 절약할 수 있는 장점이 있으므로 향후 ITS 망의 설치 및 운용에 적용될 수 있으리라 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

(NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

## 참고문헌

1. 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.
2. M. K. Simon and M.-S. Alouini, Digital Communication over Fading Channels, Wiley, 2005.
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. I. S. Gradshteyn, and I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series, and Products, 7th ed., Academic, San Diego, CA, 2007.