

다이버시티 기법을 이용한 부가데이터 전송 시스템의 채널용량 확장

Channel Capacity Expansion Method of Additional Data Transmission System Using Diversity Scheme

김주찬, 김진영

광운대학교 전자공학과

Key Words : Channel Capacity, Additional Data Transmission, Diversity

목 차

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

I. 서론

인간의 이동수단으로써 자동차의 등장은 1세기 이상의 역사를 가지며 발전해 오고 있으며, 최근에는 핵심부품들이 전자기술의 발전에 힘입어 그 기능들이 보다 지능적이면서 더 많은 편리한 기능들을 제공하고 있다.

최근에는 이러한 자동차 자체의 발전과 더불어 교통망 자체를 IT기술에 접목해 지능형으로 발전시키고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 가장 핵심적인 역할을 하는 것이 이동통신시스템이다. 더군다나 1990년대부터 급격하게 발전해 온 이동통신 시스템의 기술은 21세기 인간 삶의 변화를 이끄는 데 가장 큰 역할을 해 온 핵심 기술 중 하나로 분류된다.

이미 우리 사회 주변에서 이러한 IT 기술과 교통시스템의 융합서비스가 제공되고 있다. 차량용 네비게이션을 이용한 실시간 교통망 안내는 가장 대표적인 예이다. 차량용 네비게이션의 급속한 보급은 기존의 시스템을 이용한 새로운 서비스의 창출이라는 것이 큰 몫을 했다. 새로운 시스템을 처음부터 구축하고 운용하는 것은 서비스 제공자에게는 투자비용에 있어서 상당한 부담이 있는 반면, GPS (Global Positioning System)라는 기존의 호스트 시스템을 이용하면서 새로운 서비스 콘텐츠를 제공하는 것은 상대적으로 적은 비용부담으로 새로운 시장창출을 가능케 했던 것이다.

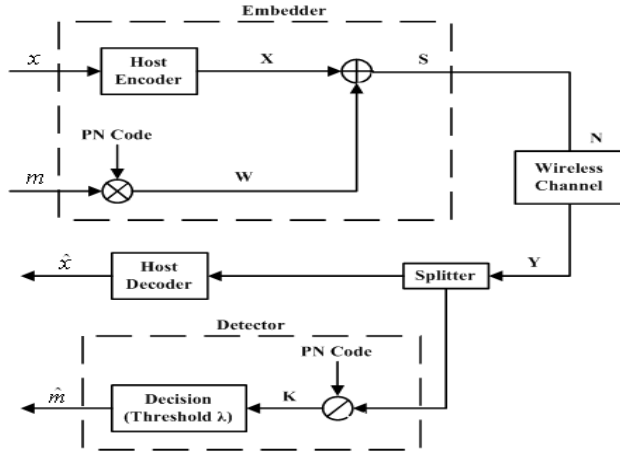
본 고에서는 이처럼 기존 호스트 시스템을 이용하면서 ITS (Intelligent Transportation Systems)망에서 새로운 서비스를 제공하는 수단으로서 부가데이터 전송기법을 제안한다. 그러나 기존 호스트 시스템은 특정 시스템을 지칭하지 않는다. 사용 목적과 서비스 범위에 따라 적절한 호스트 시스템을 선정할 수 있기 때문이다. 어떤 호스트 시스템을 그대로 사용

하면서 ITS망을 위한 부가데이터를 전송하기 위해서는 부가데이터를 생성시키는 새로운 시스템이 필요한데, 본 고에서는 디지털 워터마킹 기법을 이용하여 부가데이터를 전송하는 기법을 제안한다. 디지털 워터마킹 기법은 원래 디지털 오디오/비디오, 텍스트 등의 전자화 된 콘텐츠의 저작권 및 불법 복제 등의 방지를 위해 생겨난 기술이다. 그러나 최근에는 디지털 워터마킹 기법을 이용하여 디지털 방송시스템 등에 적용하여 부가데이터를 전송시키는 기법들이 소개 되고 있다 [1]. 디지털 워터마킹 기법은 그 사용목적에 따라 다양한 기법들이 소개 되고 있다 [2]. 본 고에서는 잡음환경에서 강인한 특성을 가지고 있는 대역확산 코드를 이용한 워터마킹 기법 (SSW: Spread Spectrum Watermarking)을 이용한다.

호스트 시스템은 기본적으로 무선통신 시스템을 가정하기 때문에 무선채널을 통과하면서 수신된 신호의 신뢰성을 확인하기 위해선 채널용량 분석이 필수적이다. 무선 페이딩 효과를 보상하기 위해서는 여러 가지 기법들을 적용할 수 있는데, 본 고에서는 상대적으로 복잡도가 낮은 다이버시티 기법을 이용한 채널용량 확장기법을 다룬다. 다이버시티 기법은 특히 MRC (Maximal Ratio Combining), EGC (Equal Gain Combining), SC (Selection Combining) 등과 같은 결합기법과 함께 이용할 때 그 성능이 우수해 지므로, 본 고에서는 이 중에서 성능이 가장 우수한 MRC 기법과 성능은 약간 떨어지지만 복잡도가 가장 낮은 SC 기법에 대해서 다룬다. 채널 모델은 다중경로 페이딩 모델로써 Rayleigh 페이딩 채널을 가정한다.

본 고의 구성은 II장에서 시스템 모델에 대해서 설명 한 후, III장에서 채널용량을 수식적으로 근사화하여 유도한 다음, IV장에서 유도된 수식을 바탕으로 채널용량의 변화를 살펴보고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델



<그림 1> 대역확산 기법을 이용한 워터마킹 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 대역 확산 시키는 확산기를 포함한다.

전송된 신호는 무선채널을 통과하는 동안 채널 페이딩 효과에 의해 왜곡되어 수신된다. 채널에 의한 왜곡을 보상하기 위하여 다이버시티 기법을 이용한다. 일반적으로 다이버시티 기법을 사용하면 안테나가 2개 일때 그 성능개선 폭이 제일 크며, 안테나 수가 증가하면서 성능개선 폭은 점점 줄어들게 된다 [3].

수신된 신호는 수신단에서 상관기를 통하여 송신단에서 사용된 PN 시퀀스를 찾아내게 되고, 찾아낸 PN 시퀀스를 이용하여 워터마킹된 신호를 복원한다.

III. 채널용량 분석

본 고에서는 채널 모델로써 다중경로 페이딩 모델에서 널리 사용되는 Rayleigh 페이딩 채널을 고려한다. 대역확산된 워터마킹 신호가 페이딩 채널에 의한 영향을 받음으로, 이를 완화시키기 위해 다이버시티 기법을 적용하여 그 성능을 확인한다. 다이버시티 기법은 MRC, EGC, SC 기법이 가장 널리 사용되는데 최적의 성능을 살펴보기 위하여 MRC 기법을 고려하고, MRC 기법에 비해 성능은 조금 떨어지면 상대적으로

로 구현이 쉬운 SC 기법 또한 비교해 본다.

대역확산 워터마킹 시스템의 AWGN 채널에서의 채널용량은 다음과 같이 주어진다 [4].

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

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 [5].

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

수식 (2)에서와 같이 무선 페이딩 채널에서 대역확산 시스템의 채널용량을 구하기 위해서는 페이딩 채널에 대한 PDF가 필요한데, MRC 기법과 SC 기법을 사용했을 경우의 Rayleigh 분포의 PDF는 각각 다음과 같이 주어진다 [6].

$$p_\gamma^{MRC}(\gamma) = \frac{\gamma^{M-1}}{(M-1)! \gamma^M} e^{-\gamma/\bar{\gamma}}, \quad \gamma \geq 0 \quad (3)$$

$$p_\gamma^{SC}(\gamma) = \frac{M}{\gamma} \sum_{k=0}^{M-1} (-1)^k \binom{M-1}{k} e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}}, \quad \gamma \geq 0 \quad (4)$$

여기에서 M 은 안테나의 개 수, γ 는 SNR 그리고 $\bar{\gamma}$ 는 평균수신 SNR을 나타낸다.

III.A. Maximal Ratio Combining

먼저 MRC 기법을 이용한 채널용량 수식을 유도하기 위해서 수식 (1)에서 로그항을 정리하고 수식 (3)을 곱하여 적분하면 수식 (5)를 얻는다. 여기에서 $WNR = \gamma$ 이다. 또한 수식 (5)에서 적분항을 풀기 위하여 로그 특성을 이용하여 분자항과 분모항을 따로 분리하여 계산할 수 있다. 수식 (6)은 분자항에 관한 적분과정을 보여준다. 수식 (6)에서는 부분적분 기법을 이용하여 적분항을 계산한다. 수식 (6)에서의 적분항은 다시 [7, 3.383.10]을 이용하여 수식 (7)과 같이 근사화 할 수 있다. 수식 (7)에서의 $\Gamma(-M+j, x)$ 는 [7, 8.352.8]에 주어진다. 수식 (5)에서 분모항은 분자항 계산 과정과 마찬가지로 유도가 되며 그 결과가 수식 (8)에 주어진다. 마지막으로 수식 (7), (8)의 결과를 수식 (5)에 대입하면 최종적으로 대역 확산 워터마킹 시스템에서 MRC 다이버시티 기법을 이용한 경우의 채널용량 수식을 수식 (9)에서 얻는다.

$$\begin{aligned} \bar{C}_{SSW}^{MRC} &= \frac{f_x}{2N} \int_0^\infty \log_2 \left(\frac{(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x}{f_x HWR\gamma + f_x} \right) \frac{\gamma^{M-1}}{(M-1)! \gamma^M} e^{-\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma \\ &= \frac{f_x}{2N(M-1)! \gamma^M \ln 2} \int_0^\infty \ln \left(\frac{(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x}{f_x HWR\gamma + f_x} \right) \gamma^{M-1} e^{-\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\int_0^\infty \ln[(f_x HWR + 2N^2) + f_x] \gamma^{M-1} e^{-\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &= -\ln[(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x] e^{-\gamma/\bar{\gamma}} \sum_{j=1}^M \frac{(M-1)!}{(M-j)!} \left(\frac{1}{\bar{\gamma}}\right)^{-j} \gamma^{M-j} \Big|_0^\infty \\ &\quad + \left(\sum_{j=1}^M \frac{(M-1)!}{(M-j)!} \left(\frac{1}{\bar{\gamma}}\right)^{-j} \right) \int_0^\infty \left(\frac{f_x HWR + 2N^2}{(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x} \right) e^{-\gamma/\bar{\gamma}} \gamma^{M-j} d\gamma \\ &= \left(\sum_{j=1}^M \frac{(M-1)!}{(M-j)!} \left(\frac{1}{\bar{\gamma}}\right)^{-j} \right) \int_0^\infty \frac{1}{\gamma + \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2}} e^{-\gamma/\bar{\gamma}} \gamma^{M-j} d\gamma, \end{aligned}$$

$$\int_0^\infty \frac{1}{\gamma + \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2}} e^{-\gamma/\bar{\gamma}} \gamma^{M-j} d\gamma \quad (7)$$

$$= \left(\frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \right)^{M-j} e^{\frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1}{\bar{\gamma}}} \Gamma(M-j+1) \Gamma\left(-M+j, \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1}{\bar{\gamma}}\right),$$

$$\int_0^\infty \ln(f_x HWR \gamma + f_x) e^{-\gamma/\bar{\gamma}} \gamma^{M-1} d\gamma \quad (8)$$

$$= \left(\frac{1}{HWR} \right)^{M-j} e^{\frac{1}{HWR} \frac{1}{\bar{\gamma}}} \Gamma(M-j+1) \Gamma\left(-M+j, \frac{1}{HWR} \frac{1}{\bar{\gamma}}\right).$$

$$\begin{aligned} \bar{C}_{SSW}^{MRC} &= \frac{f_x}{2N\bar{\gamma} \ln 2} \sum_{j=1}^M \left(\frac{1}{\bar{\gamma}}\right)^{-j} \left[\left(\frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \right)^{M-j} e^{\frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1}{\bar{\gamma}}} \Gamma\left(-M+j, \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1}{\bar{\gamma}}\right) \right. \\ &\quad \left. - \left(\frac{1}{HWR} \right)^{M-j} e^{\frac{1}{HWR} \frac{1}{\bar{\gamma}}} \Gamma\left(-M+j, \frac{1}{HWR} \frac{1}{\bar{\gamma}}\right) \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\bar{C}_{SSW}^{SC} = \frac{f_x}{2N} \int_0^\infty \log_2 \left(\frac{(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x}{f_x HWR \gamma + f_x} \right) \frac{M}{\bar{\gamma}} \sum_{k=0}^{M-1} (-1)^k \binom{M-1}{k} e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma \quad (10)$$

$$= \frac{f_x}{2N \ln 2} \frac{M}{\bar{\gamma}} \sum_{k=0}^{M-1} (-1)^k \binom{M-1}{k} \int_0^\infty \ln \left(\frac{(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x}{f_x HWR \gamma + f_x} \right) e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma,$$

$$\int_0^\infty \ln((f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x) e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma \quad (11)$$

$$= -\frac{\bar{\gamma}}{1+k} \ln((f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x) e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}} \Big|_0^\infty$$

$$+ \frac{\bar{\gamma}}{1+k} \int_0^\infty \frac{f_x HWR + 2N^2}{(f_x HWR + 2N^2)\gamma + f_x} e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma$$

$$= \frac{\bar{\gamma}}{1+k} \ln(f_x) + \frac{\bar{\gamma}}{1+k} e^{\frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}} \Gamma\left(0, \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}\right),$$

$$\int_0^\infty \ln(f_x HWR \gamma + f_x) \gamma^{M-1} e^{-(1+k)\gamma/\bar{\gamma}} d\gamma \quad (12)$$

$$= \frac{\bar{\gamma}}{1+k} \ln(f_x) + \frac{\bar{\gamma}}{1+k} e^{\frac{1}{HWR} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}} \Gamma\left(0, \frac{1}{HWR} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}\right).$$

$$\bar{C}_{SSW}^{SC} = \frac{f_x}{2N \ln 2} \frac{M}{\bar{\gamma}} \sum_{k=0}^{M-1} (-1)^k \binom{M-1}{k} \left(\frac{\bar{\gamma}}{1+k} \right) \quad (13)$$

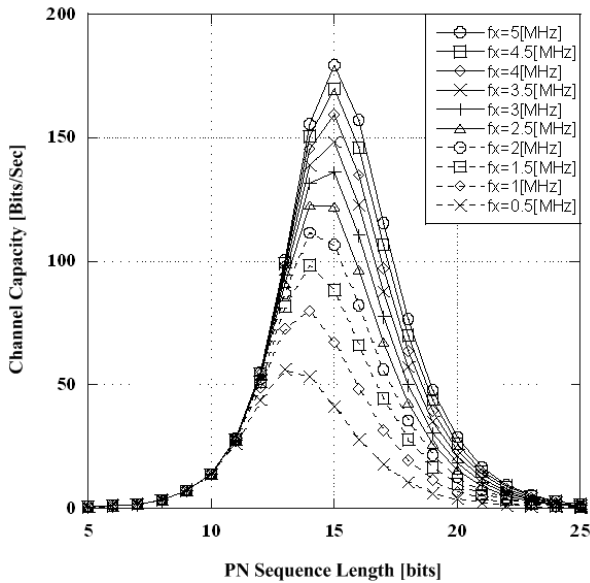
$$\times \left[e^{\frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}} \Gamma\left(0, \frac{f_x}{f_x HWR + 2N^2} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}\right) - e^{\frac{1}{HWR} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}} \Gamma\left(0, \frac{1}{HWR} \frac{1+k}{\bar{\gamma}}\right) \right].$$

III.B. Selection Combining

다음은 대역확산 위터마킹 시스템에 SC 다이버시티 기법을 적용했을 경우의 채널용량 수식을 근사화하여 유도한다. MRC 기법의 경우와 마찬가지로 수식 (10)을 얻는다. 수식 (10)에서의 적분항도 로그 특성을 이용하여 분자항과 분모항을 나누어 계산할 수 있다. 수식 (11)은 분자항의 적분결과이며 수식 (12)는 분모항의 적분결과이다. 수식 (11)과 수식 (12)의 결과를 수식 (11)에서의 적분항에 대체시키면 최종적으로 대역확산 위터마킹 시스템에서 SC 다이버시티 기법을 이용한 경우의 채널용량 수식을 수식 (13)에서 얻는다. $\Gamma(0, x)$ 는 [7, 8.359.1]에 주어진다.

IV. 모의실험 결과

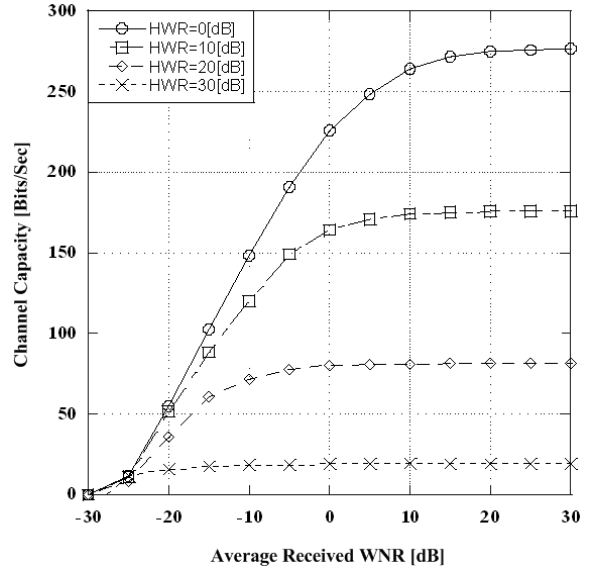
본 장에서는 III장에서 유도된 대역확산 위터마킹 시스템의 채널용량식을 바탕으로 수행된 모의실험 결과를 설명한다.



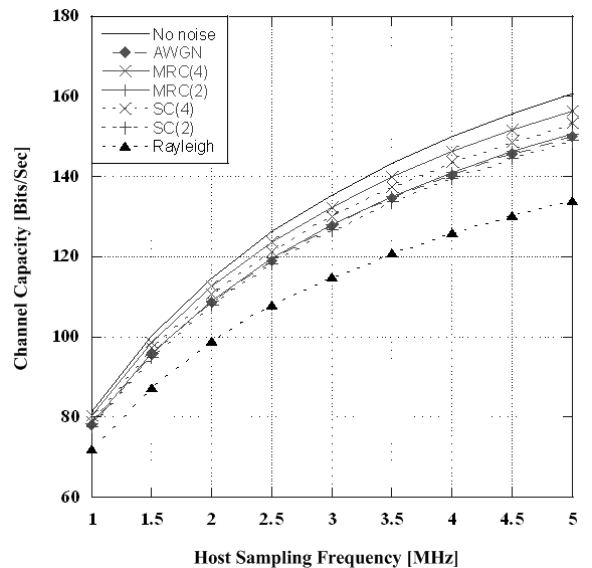
<그림 2> 채널용량 대 PN 시퀀스 길이
(HWR=20[dB], WNR=0[dB])

그림 2는 호스트 시스템의 샘플링 주파수에 따른 채널용량 대 PN 코드 길이를 나타낸다. 그림으로부터 채널용량이 PN 시퀀스의 증가에 따라 선형적으로 증가하지 않음을 알 수 있다. 각 호스트 샘플링 주파수별 최대 채널용량을 나타내는 특정 PN 시퀀스의 길이가 있음을 알 수 있다. 또한 채널용량은 호스트 샘플링의 증가에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 그러나 채널용량의 증가분은 호스트 샘플링 주파수의 증가에 따라 점점 줄어들고 있다.

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 3> 채널용량 대 평균수신 WNR
(fx=1[MHz], PN=14[bits])



<그림 4> 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. 잡음이 전혀 없는 상태에서의 채널용량이 가장 크고 Rayleigh 페이딩 채널에서의 채널용량이 가장 작음을 알 수 있다. 채널 페이딩 효과를 보상하기 위하여 다이버시티 기법을 적용한 채널용량의 증가를 확인할 수 있다. 알려진 바와 같이 MRC 결합기법을 사용했을 경우가 SC 결합기법을 사용했을 때 보다 더 많은 채널보상 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 안테나의 수가 2일 때가 채널 증가 효과가 가장 크고, 4일 때는 증가분이 줄어들고 있음을 확인할 수 있다. MRC와 SC 결합기법 모두에서 안테나 수가 2일 때 AWGN 채널 상태에서의 채널용량에 근접하는 성능을 보임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 대역확산 워터마킹 기법을 이용한 부가정보 전송 시스템에서 다이버시티 기법을 이용하여 채널용량을 확장시키는 기법에 대해서 알아보았다. 무선 채널의 특성상 다중경로 페이딩 효과로 인하여 성능열화가 발생하는데, 이를 보상하기 위한 기법으로써 다이버시티-결합기법을 적용하였다. 이를 위하여 대역확산 워터마킹 부가정보 전송 시스템의 채널용량을 근사화 하여 유도하였다. 유도된 수식을 바탕으로 진행된 모의실험으로부터 채널용량이 페이딩 효과에 의해 감소하지만 MRC와 SC 결합기법을 이용하면 충분히 보상할 수 있음을 보였다.

본 고에서 제안한 대역확산 워터마킹 시스템을 적용한 부가정보 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. S. Katzenbeisser and F. A. P. Petitcolas, Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking, Artech House, 2000.
3. J. G. Proakis and M. Salehi, Digital Communications, McGraw-Hill, 2008.
4. 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.
5. 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.
6. M. K. Simon and M.-S. Alouini, Digital Communication over Fading Channels, Wiley, 2005.
7. I. S. Gradshteyn, and I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series, and Products, 7th ed., Academic, SanDiego, CA, 2007.