
나카가미 m-분포 모델을 이용한 페이딩 환경에서 초광대역 통신 시스템의 성능 해석

이양선* , 김지웅** , 강희조***

Performance Analysis of Ultra Wideband Communication System in Fading Environment using Nakagami m-distribution Model

Yang-Sun Lee* Ji-woong Kim** Heau-Jo Kang***

요 약

본 논문에서는 채널의 진폭 특성만을 고려한 실내 무선 페이딩 환경에서 PPM 변조된 UWB 통신 시스템의 채널 성능을 분석하였다. 페이딩 채널은 기존에 발표되었던 UWB 전파 실험을 통한 데이터를 바탕으로 Nakagami-m 분포 모델을 이용하여 페이딩 지수 m에 따른 다양한 채널 환경을 고려하였다. 또한, 채널 부호화 기법으로써 강력한 에러정정 능력을 가진 컨벌루션 부호화 기법을 적용함으로써 페이딩으로 인해 열화된 시스템 성능을 개선하였다.

Abstract

In this paper, we analyzed channel performance of PPM modulated UWB communication system in indoor radio fading environment that consider amplitude characteristic of channel. Fading channel considered various channel environments by fading index m utilizing Nakagami-m distribution model with data through an UWB radio signal experiment that announced in existing. Also, we improved performance of system that it is decreased in fading environment employing convolution encoding techniques.

Keyword

Ultra-Wideband, Time Hopping PPM, Nakagami m-distribution fading, Convolution Code

1. 서 론

현재 무선 통신 분야에서 한정된 주파수 자원에 대한 사용 효율을 극대화하기 위해 선진국을 비롯한 세계 각국의 노력에도 불구하고 주파수 자원에 대한 문제는 매우 심각하다. 이를 해결하기 위해 기존의 통신 시스템과 주파수 스펙트럼을 공유하여 사용함으로써 주파수 자원을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있는

초광대역(Ultra Wideband : UWB) 통신 방식이 등장하였다. 이러한 초광대역 통신 방식은 기저대역 잡음과 같은 형태로 존재하여 타 통신 시스템에 간섭을 주지 않고 통신이 가능하며, 대역폭 또한 광대역으로 취할 수 있기 때문에 전송속도에 있어서도 기존 통신 시스템에 비해 유리하다. 그리고 기존 시스템에서 필수적으로 사용되었던 반송파를 사용하지 않으므로 송·수신기의 소비 전력을 현격하게 줄일 수 있고,

* 준 회 원 : 목원대학교 대학원 컴퓨터멀티미디어공학부 박사과정 satcom2000@korea.com(제1저자)

** 정 회 원 : (주) 휴메이트 H/W 개발부 과장 kjwcomm@korea.com(공동저자)

*** 종신회원 : 목원대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수 hjkang@mokwon.ac.kr(공동저자)

접수일자 : 2003. 6. 25

송·수신기를 간략화 시킬 수 있다[1],[2]. 2002년 2월 FCC에서 UWB 기술을 상업용으로 부분적 허용을 승인함으로써 UWB 기술을 이용하는 통신 시스템 개발이 활발하게 진행되고 있고 현재 IEEE 802.15.3a의 물리 계층 표준으로 제안되고 있으며 이를 위해 여러 UWB 방식들이 제시되고 있다[3].

그러나, UWB 기술은 아직 충분히 개발되지 않은 단계이고 통신 시스템의 효율적인 디자인을 위해 새로운 실험과 이론적인 활동들이 요구되어지고있다. 특히, UWB 방식들에 대한 분석 및 성능 향상을 위해서는 UWB 채널 모델링 및 채널 모델을 고려한 성능평가가 요구되어진다.

따라서, 본 논문에서는 기존에 발표되었던 UWB 전파 실험을 통한 데이터를 바탕으로 실내 무선 환경에서 채널의 진폭 특성만을 고려 시 UWB 전파 채널에 적합한 Nakagami-m분포 페이딩 모델을 이용하여 PPM 변조된 UWB 통신 시스템의 신호대 잡음 비 및 시스템 성능 파라미터 N_s 에 따른 채널 성능을 분석하였다.

II. TH binary PPM UWB 시스템

2.1 모노사이클 펄스 특성

본 논문에서 고려한 UWB 시스템은 수신 펄스 $p_{RX}(t)$ 에 대해, 가우시안 함수 $\exp(-2\pi t/t_n)^2$ 의 2차 미분된 형태로써 모델링 된다고 가정한다. 수신 펄스 $p_{RX}(t)$ 는 주기 T_p 와 에너지 $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 를 갖는다. 이 경우 송신기에서는 아래 식(1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $p_{TX}(t)$ 를 전송한다 [4],[5].

$$p_{TX}(t) = t \exp\left(-2\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (1)$$

여기서, t_n 은 펄스의 폭을 결정하는 파라미터로, 수 나노 초 이하의 매우 작은 값을 사용한다. 식 (1)과 같은 가우시안 모노사이클 펄스가 수신기에 입사되는 경우 수신단 입력 파형 $p_{RX}(t)$ 는 가우시안 함수의 2차 미분된 형태로써 다음 식 (2)와 같

이 나타낼 수 있다.

$$p_{RX}(t) = \left(1 - 4\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \exp\left(-2\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (2)$$

여기서, 신호의 스펙트럼과 시간영역 구조는 t_n 에 의해 결정된다.

UWB 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 수신 신호 $p_{RX}(t)$ 의 정규화된 신호 상관함수 $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다[5].

$$\begin{aligned} \gamma_p(\tau) &= \int_{-\infty}^{+\infty} p_{RX}(t) p_{RX}(t+\tau) dt \\ &= \left[1 - 4\pi\left[\frac{\tau}{t_n}\right]^2 + \frac{4\pi^2}{3}\left[\frac{\tau}{t_n}\right]^4\right] \\ &\quad \cdot \exp\left(-\pi\left[\frac{\tau}{t_n}\right]^2\right) \end{aligned} \quad (3)$$

수신단 상관기에서 사용되는 기준 신호 $v(t)$ 는 식(4)와 같다.

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t - \delta) \quad (4)$$

2.2 실내 무선 채널 모델

UWB 채널 모델링은 채널 임펄스 응답의 진폭, 지연시간 및 위상에 대한 통계적 특성을 결정하는 과정으로 얻어진 결과가 실제 측정된 데이터의 특성을 잘 표현할 수 있어야 한다.

Hashemi의 결과에서는 방대한 데이터에 근거해서 진폭 및 도달 시간에 대한 통계적 특성을 얻었다[6]. 진폭에 대한 채널 모델 특성은 기존에 제시한 몇몇 연구결과와 유사하게 실측 데이터가 Log-normal 분포와 잘 일치하는 결과를 얻었다 [7]. Cassioli는 지연 시간에 대한 특성은 생략하고 진폭 특성에 대한 채널 모델만을 제시하였다[8]. 여기서 Cassioli는 small-scale 페이딩 현상을 Nakagami 분포로 표현하였다. 이들이 사용한 측정 방법은 시간축상에서 실제로 펄스를 보낸 후 샘플링해서 측정된 것이므로 실제 UWB 시스템에 근거했다는 장점이 있다. 본 논문에서는 실내 환경으로써 송수신간의 상대적인 작은 이동에 의

해 진폭 변동이 발생하는 small-scale 페이딩 환경을 고려하고 Cassioli가 표현한 Nakagami 분포의 채널 모델을 이용하여 채널성능을 분석하였다. 통신로상에서 발생하는 여러 가지 심도(depth)의 페이딩을 나타낼수 있는 Nakagami의 m-분포 페이딩 모델에 의하면 페이딩을 받은 수신신호 진폭 R의 확률밀도함수 p(R)은 다음과 같다[9].

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega_s^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega_s}\right) \quad (5)$$

여기서, $\Gamma(\cdot)$: Gamma 함수
 $\Omega_s/2$: 수신신호의 평균 전력
 $\Omega_s = \overline{R^2}$

III UWB 시스템의 성능해석

3.1 AWGN 환경에서 TH binary PPM UWB 시스템의 성능

UWB 시스템의 복조는 기준 신호 $v(t)$ 를 사용하는 상관기를 이용한다. 기준 신호는 다음과 같다[5].

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t-\delta) \quad (6)$$

k번째 사용자의 수신 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_u} A_k s^{(k)}(t-\tau_k) + n(t) \quad (7)$$

여기서, N_u : 사용자 수
 A_k : k번째 사용자 신호 $s^{(k)}(t)$ 의 감쇄 성분
 τ_k : k번째 사용자 신호 $s^{(k)}(t)$ 의 지연 시간
 $n(t)$: 평균이 0, 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN.

이론다는 가정하에 다원접속 간섭이 배제되는 경우를 가정하였다.

따라서, 한 명의 사용자만이 접속한 것과 같고, 따라서, 식(7)을 단일 수신된 신호로 다시 정리하면,

$$\begin{aligned} r(t) &= r_{RX}(t-\tau) + n(t) \\ &= \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sqrt{E_s} p_{RX}(t-jT_f - c_j T_c - \delta a_{[j/N_s]} - \tau) + n(t) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, $n(t)$ 는 양측 전력 밀도 $N_0/2$ 를 갖는 AWGN 잡음, τ 는 전파지연이다.

완벽한 시간동기의 가정하에서 상관기의 해석은 다음과 같다.

$$\beta_i = \sum_{j=N_s}^{(i+1)N_s} \int_{t+jT_f}^{t+(j+1)T_f} r(t) v(t-jT_f - c_j T_c - \tau) dt \quad (9)$$

최종적으로 결정 회로에서 판단된 데이터 $\hat{\alpha}_i$ 는 다음과 같다.

$$\hat{\alpha}_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta_i \geq 0 \\ 1 & \text{if } \beta_i < 0 \end{cases} \quad (10)$$

따라서, 위와 같은 조건에서 AWGN 환경에서 단일 사용자 UWB 시스템의 비트 오류 P_b 는 다음과 같다[4].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{N_s E_b}{2N_0}} \sqrt{1-\gamma(\delta)}\right) \quad (11)$$

여기서, $N_s E_b = E_b$, 단일 정보 비트를 전송하는데 필요한 에너지이다.

본 논문에서는 수신단에서 완벽한 시간동기를

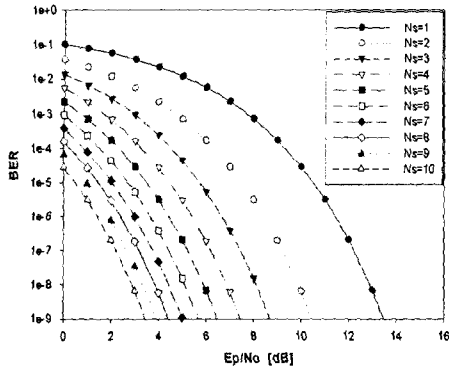


그림 1. AWGN환경에서 binary PPM UWB 시스템 오율 성능

Fig 1. Error performance of binary PPM UWB system in AWGN environment

그림 1은 binary PPM UWB 시스템의 AWGN 환경에서 시스템 특성 파라미터인 펄스반복개수 (N_s)의 변화에 따른 오율성능을 나타내고 있다. 무선 데이터 서비스 (10^{-6} BER)를 기준으로 하였을 때 $N_s=1$ 인 경우 11.45dB에서 기준 서비스를 만족하고 N_s 가 2, 3으로 증가함에 따라 3dB, 2dB의 수신이득을 얻을 수 있고 $N_s=3$ 이상에서는 1dB이하의 수신이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나, N_s 의 증가는 시스템의 전송효율을 감소시키기 때문에 채널 환경에 따른 적절한 N_s 의 설계가 필요하다.

3.2 실내 m-distribution 페이딩 환경에서 UWB 시스템 성능 분석

페이딩에 의한 binary PPM UWB 시스템의 오율식은 식(4)와 식(10)에 의해 페이딩 심도지수 m 값으로 나타낼 수 있다.

$$P_{e-f} = \int_0^{\infty} P_b \cdot p(x) dx \quad (12)$$

문헌 [8]의 내용에 의하면, 직접파 성분을 제외한 반사파에 의한 영향을 고려시, Nakagami 분포의 파라미터 m 값에 따라서 여러 가지 형태의 채널 환경을 나타낼 수가 있었으며 UWB 채널의 small-scale 페이딩 특징을 잘 표현하였다. 또한,

그림 2와 같이 여러 다른 위치에서의 지연시간에 따른 m 값의 분포 특성이 약 1~6 사이의 통계적 m 분포 특성을 보임을 알 수 있었다[8].

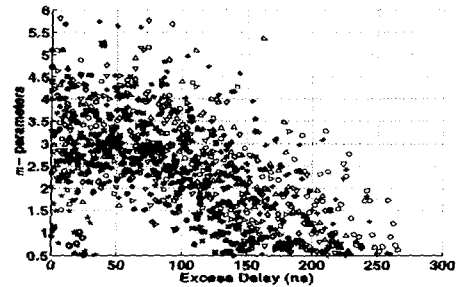


그림 2. 접속지연시간에 따른 파라미터 m의 분포 특성(the experimental PDF)[8]

Fig 2. Scatter plot of the m -Nakagami parameters of the best fit distribution versus excess delay for all the bins except the line-of-sight components

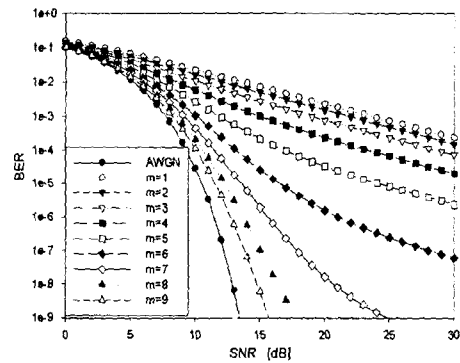


그림 3. 페이딩 환경에서 m값에 따른 binary PPM UWB 시스템 성능($N_s=1$)

Fig 3. Performance of binary PPM UWB system according to m parameter in fading environment

그림 3은 $N_s=1$ 인 경우로 m 값에 따른 다양한 페이딩 채널 환경에서의 binary PPM UWB 시스템 성능을 나타내고 있다. AWGN 환경에서는 11.45dB에서 기준 서비스를 만족하는데 비해, 페이딩 환경에서는 m 값이 8이상인 채널 환경에서 AWGN 성능과 근접한 수신성능을 보임을 알 수 있다. 그러나, 5이하의 m 분포 채널 특성에서는 기준 서비스를 만족하지 못하는 심각한 성능 열화를 보임을 알 수 있다. 따라서, UWB 채널 환경에서는 페이딩 현상으로 인한 성능열화가 심각함을 알

수 있다.

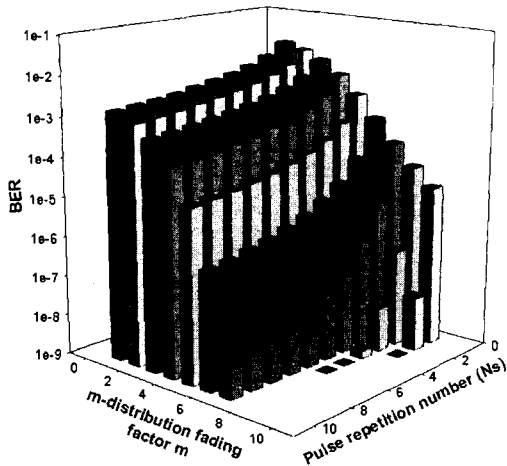


그림 4. 페이딩 환경에서 페이딩 지수 m과 Ns에 따른 binary PPM UWB 시스템 성능 ($E_p/N_0=11.45\text{dB}$)
 Fig 4. Performance of binary PPM UWB system according to fading index m and Ns in fading environment ($E_p/N_0=11.45\text{dB}$)

그림 4는 AWGN 환경에서 $N_s=1$ 인 경우에 기준서비스를 만족하는 수신 전력 11.45dB를 기준으로 m값의 변화와 N_s 의 변화에 따른 시스템 성능을 나타내고 있다. 페이딩 지수 $m=6$ 이상인 경우 N_s 를 증가시킴으로써 성능 이득을 얻을 수 있으나 $m=6$ 이하의 페이딩 채널 환경에서는 N_s 의 증가로 인한 성능 이득을 얻을 수 없었다. 시스템 설계 시 N_s 의 증가는 시스템의 전송효율을 저하시키는 원인이 된다. 결국, UWB 채널환경에 근접한 페이딩 채널에서는 N_s 를 이용한 성능 이득을 얻을 수 없기 때문에 채널성능 열화를 극복하기 위한 채널 코딩기법 또는 그 외의 성능개선기법이 필수적으로 적용되어야 함을 알 수 있다.

그림 5에 페이딩 지수 $m=1\sim 9$ 사이의 페이딩 환경에서 시스템 성능 파라미터 N_s 와의 관계 및 10^{-6}BER 의 기준을 만족하기 위한 신호전력과의 관계를 3D그래프로 나타내었고 이를 정리하여 표 1에 나타내었다.

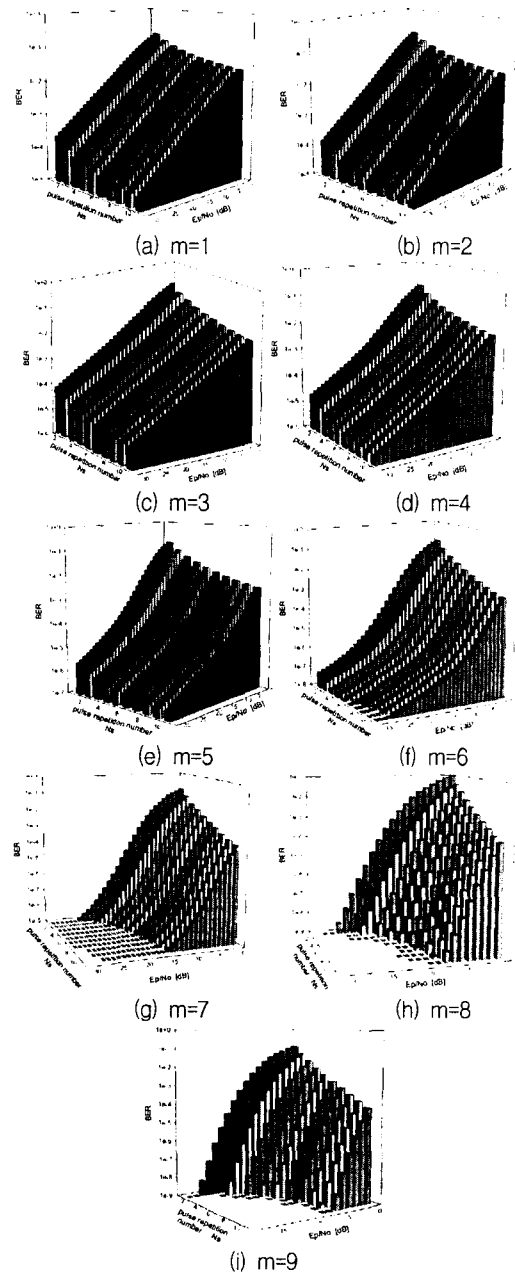


그림 5. 페이딩 지수 m과 Ns에 따른 binary PPM UWB 시스템 성능
 Fig 5. Performance of binary PPM UWB system according to fading index m and Ns

표 1. 페이딩 지수 m 과 N_s 및 신호전력과의 관계(uncoded, 기준서비스 오율 10^{-6} BER)
Table 1. Relation of fading index m , N_s and signal power(uncoded, reference service 10^{-6} BER)

10^{-6} BER 기준	$N_s=1$	$N_s=2$	$N_s=3$	$N_s=4$	$N_s=5$	$N_s=6$	$N_s=7$	$N_s=8$	$N_s=9$	$N_s=10$
AWGN	11.45dB	8.45 dB	6.6 dB	5.5 dB	4.5 dB	3.6 dB	3 dB	2.4 dB	2 dB	1.5 dB
$m=9$	12.8 dB	9.7 dB	8 dB	6.7 dB	5.7 dB	5 dB	4.2 dB	3.7 dB	3.2 dB	2.7 dB
$m=8$	13.7 dB	10.7 dB	9 dB	7.7 dB	6.7 dB	5.8 dB	5.2 dB	4.5 dB	4 dB	3.7 dB
$m=7$	15.5 dB	12.5 dB	10.7 dB	9.5 dB	8.5 dB	7.7 dB	7.2 dB	6.5 dB	6 dB	5.5 dB
$m=6$	21 dB	18 dB	16 dB	15 dB	14 dB	13 dB	12.5 dB	12 dB	11.3 dB	11 dB
$m=5$	-	-	29 dB	28 dB	27 dB	26 dB	25 dB	24.5 dB	24 dB	23.5 dB
$m=4$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$m=3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$m=2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$m=1$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

표 1에 정리한 관계로부터 AWGN 환경의 경우 N_s 가 1, 2, 3으로 증가함에 따라 3, 2dB의 향상 폭을 갖고 $N_s=3$ 이상의 경우는 약 1dB이하의 성능 이득을 보임을 알 수 있다. 페이딩 채널을 고려한 경우 페이딩 지수 $m=1\sim 5$ 사이에서 기준 BER을 만족하지 못하는 심각한 성능 열화를 보이는 것을 알 수 있고, 이는 UWB 채널에 근접한 진폭특성을 갖는 페이딩 환경으로써 반사파로 인한 채널의 진폭변동에 따라 시스템 성능에 미치는 영향이 클 수 있다. 페이딩 지수 $m=6$ 이상인 경우는, AWGN 환경에서 요구되는 수신전력보다 m 값의 증가에 따라 약 9.5dB, 4dB, 2.2dB, 1.3dB가량이 N_s 의 증가와는 무관하게 추가적으로 요구되는 것을 알 수 있다.

3.3 실내 m -distribution 페이딩 환경에서 Convolution 부호화를 이용한 UWB 시스템 성능 개선

본 논문에서는 채널 부호화기법으로서 컨벌루션 부호화 기법을 적용하여 페이딩 채널 환경에서의 UWB 통신 시스템의 성능을 분석하였다.

컨벌루션 부호는 부호율 1/2, 구속장 7을 갖는 부호로 설계하고 다양한 페이딩 환경에서의 부호 이득 및 시스템 성능 개선 정도를 분석하였다. 그림 6은 다양한 페이딩 환경에서 컨벌루션 부호화 기법을 적용 시, $N_s=1$ 인 경우 UWB 통신 시스템의 성능을 나타내고 있다.

그림에서와 같이 $m=1$ 인 심각한 페이딩 영향 하

에서도 약 22dB에서 기준 서비스를 만족함을 알 수 있고, 부호화 기법을 적용하지 않았을 때 보다 뚜렷한 성능 개선을 보임을 알 수 있다. 특히, $m=1\sim 5$ 사이의 페이딩 환경에서 큰 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있고 UWB 채널로써 60ns 이하의 지연접속에서 페이딩 진폭 특성을 갖는 ($m=2\sim 4$) 환경에서는 20dB 이상에서 10^{-9} BER을 만족하는 것을 알 수 있다.

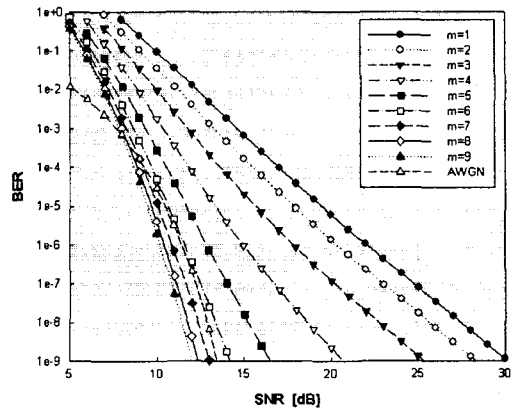


그림 6. 페이딩 환경에서 convolution coded binary PPM UWB 시스템 성능($N_s=1$)

Fig 6. Performance of convolution coded binary PPM UWB system in fading environment

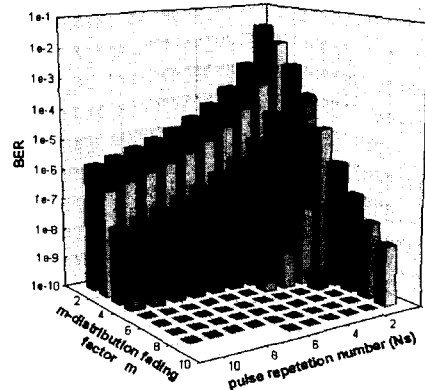


그림 7. 페이딩 환경에서 페이딩 지수 m 과 N_s 에 따른 convolution coded binary PPM UWB 시스템 성능 ($E_p/N_o=11.45$ dB)

Fig 7. Performance of convolution coded binary PPM UWB system according to fading index m and N_s in fading environment($E_p/N_o=11.45$ dB)

그림 7은 페이딩 환경에서 11.45dB를 기준으로 컨벌루션 부호를 적용한 경우 m값의 변화와 Ns의 변화에 따른 시스템 성능을 나타내고 있다. 결과와 같이, Ns=1인 경우 페이딩 지수 m=6인 페이딩 환경에서 요구되는 서비스를 만족함을 알 수 있고 m=6이하의 진폭 변동이 심한 페이딩 환경에서는 Ns를 증가시킴으로써 큰 폭의 성능 개선을 얻을 수 있었다. 그림 8과 표 2는 binary PPM UWB 시스템의 파라미터 Ns와 페이딩 지수 m의 변화에 따른 기준 서비스를 만족하기 위한 신호 전력의 관계를 보여주고 있다.

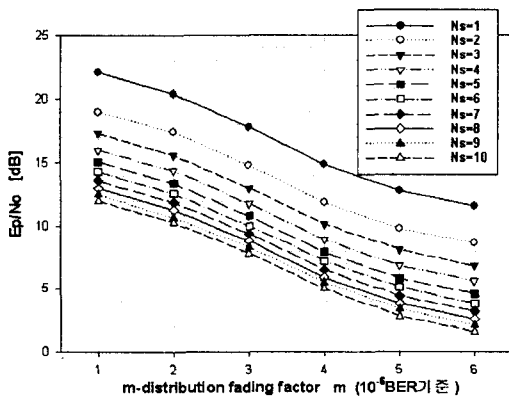


그림 8. 페이딩 지수 m과 Ns 및 신호전력과의 관계(coded, 기준서비스 오율 10^{-6} BER)
Fig 8. Relation of fading index m, Ns and signal power(coded, reference service 10^{-6} BER)

표 2. 페이딩 지수 m과 Ns 및 신호전력과의 관계(coded, 기준서비스 오율 10^{-6} BER)
Table 2. Relation of fading index m, Ns and signal power(coded, reference service 10^{-6} BER)

10^{-6} BER 기준	Ns=1	Ns=2	Ns=3	Ns=4	Ns=5	Ns=6	Ns=7	Ns=8	Ns=9	Ns=10
AWGN (non code)	11.45dB	8.45 dB	6.6 dB	5.5 dB	4.5 dB	3.6 dB	3 dB	2.4 dB	2 dB	1.5 dB
m=6	11.6 dB	8.6 dB	6.8 dB	5.6 dB	4.6 dB	3.8 dB	3.2 dB	2.6 dB	2.1 dB	1.6 dB
m=5	12.8 dB	9.8 dB	8.1 dB	6.9 dB	5.8 dB	5.1 dB	4.4 dB	3.8 dB	3.4 dB	2.8 dB
m=4	14.9 dB	11.9 dB	10.2 dB	8.9 dB	7.9 dB	7.2 dB	6.5 dB	5.9 dB	5.5 dB	5 dB
m=3	17.8 dB	14.8 dB	13 dB	11.8 dB	10.8 dB	10 dB	9.4 dB	8.8 dB	8.3 dB	7.8 dB
m=2	20.4 dB	17.4 dB	15.6 dB	14.4 dB	13.4 dB	12.6 dB	11.9 dB	11.3 dB	10.7 dB	10.3 dB
m=1	22.1 dB	19 dB	17.3 dB	16 dB	15.1 dB	14.3 dB	13.6 dB	13 dB	12.5 dB	12 dB

그림 8 및 표 2에 정리한 관계로부터 UWB 채널에 근접한 진폭특성을 갖는 페이딩 환경

(m=2~5)에서 convolution 부호화 기법을 적용함으로써 요구되는 기준 서비스를 만족함을 알 수 있고, Ns 파라미터의 설정에 따라 18~3dB 가량의 낮은 수신전력을 얻을 수 있음을 알 수 있다. m=6 이상의 페이딩 환경에서는 강력한 에러정정 효과로 AWGN 환경과 유사한 수신이득을 얻을 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 실내 small-scale 페이딩 환경으로써 기존에 발표되었던 UWB 전파 실험을 통한 데이터를 바탕으로 Nakagami-m분포 모델을 이용하여 페이딩 지수 m에 따른 다양한 채널 환경에서의 PPM 변조된 UWB 통신 시스템의 채널 성능을 분석하였다. 또한, 채널 부호화 기법으로써 강력한 에러정정 능력을 가진 convolution 부호화 기법을 적용함으로써 페이딩으로 인해 열화된 시스템 성능을 개선하였다. 결과에 의하면, m=1~5사이의 페이딩 환경에서는 심각한 성능 열화를 보임을 알 수 있었고, m=6 이상인 경우 AWGN 환경에서 요구되는 수신전력보다 m값의 증가에 따라 약 10.5dB, 4dB, 2.2dB, 1.3dB가량이 Ns의 증가와는 무관하게 추가적으로 요구되는 것을 알 수 있었다. 페이딩으로 인해 열화된 시스템 성능을 개선하기 위해 채널 부호화 기법으로써 convolution 부호화 기법을 적용한 결과, m=1인 심각한 페이딩 영향 하에서도 약 22dB에서 기준 서비스를 만족함을 알 수 있었고, 부호화 기법을 적용하지 않았을 때 보다 뚜렷한 성능 개선을 보임을 알 수 있었다. 특히, m=1~5사이의 지연접속으로 인한 진폭변동이 심한 페이딩 환경에서 큰 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있었다. 시스템의 중요한 성능 파라미터인 Ns는 일정 개수 이상에서 성능 향상이 이루어지지 않기 때문에, 실내 페이딩 환경을 고려한 UWB 통신 시스템 설계 시에는 수 개 이하의 Ns를 설정함으로써 전송율의 희생을 최소화하면서 채널보상기법을 통하여 시스템 에러율을 최소화시킬 수 있는 방안이 고려되어야 한다.

V. 참고 문헌

- [1] P. Withington, "UWB Regulation & Applications", UWB Workshop, www.timedomain.com, 11. 2001.
- [2] Aetherwire & Location Inc., www.aetherwire.com.
- [3] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System", ET-Docket, pp. 98-153.
- [4] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse Radio : How It Works," IEEE Comm. Lett., Vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [5] F. Ramirez-Mireles, "On performance of ultra wideband signals in Gaussian noise and dense multipath," accepted for publication in IEEE Trans. on Veh. Technol.1999.
- [6] H. Hashemi, "Impulse response modeling of indoor radio propagation channels," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 11, no. 7, pp. 967-978, 1993.
- [7] R. Ganesh and K. Pahlavan, "Statistical modeling and computer simulation of the indoor radio channel," IEE Proc. Part I: Commun., Speech and Vision, Vol. 138, no. 3, pp. 153-161, June. 1991.
- [8] D. Cassioli, M. Z. Win and A. F. Molisch, "A statistical model for the UWB indoor channel," IEEE J. Select Areas Commun, Vol. 20, pp. 1247-1257, Aug. 2002.
- [9] Nakagami. M., "The m-distribution, a general formular of intensity distribution of rapid fading," In Statistical Methods of Radio Wave Propagation, W.C. Hoffman Ed., New York: Pergamon Press, pp. 3-36, 1960.

저자 소개

이 양 선



2001년 2월 동신대학교 전기전자공학과 졸업
 2003년 2월 동신대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)
 2004년 3월 ~ 현재 목원대학교 대학원 컴퓨터멀티미디어공학과 (박사과정)
 2003년 7월 ~ 2004년 2월 (주) 휴메이트/대리
 ※ 관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신시스템, UWB통신, 가시광통신

김 지 웅



1997년 2월 동신대학교 전자공학과 졸업
 1999년 2월 동신대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)
 2001년 2월 동신대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사)
 2001년 3월 ~ 2003년 12월 도립담양대학 초고속정보통신공학부겸임교수
 2003년 7월 ~ 현재 (주) 휴메이트 H/W 개발부
 ※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신시스템, 이동통신, 환경전자공학

강 희 조



1994년 2월 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업(공학박사)
 1996년 8월 ~ 1997년 8월 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
 1990년 3월 ~ 2003년 2월 동신대학교 전자정보통신공학부 교수
 2003년 3월 ~ 현재 목원대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수
 ※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파, 디지털컨텐츠