

AWGN Optical Fiber에서 M-ary PPM UWB 시스템의 채널용량 분석

*임준순, 신명곤, 김태웅, 박승권
한양대학교 전자통신전파공학

e-mail : darkbani@ihanyang1.ac.kr, gongshin@hotmail.com, ktw7773@hanmail.com,
sp2996@hanyang.ac.kr

Capacity Analysis of M-ary PPM UWB System In Optical Fiber over AWGN

* Joon-Soon Im, Myung-Gon Shin, Tae-Woong Kim,
Seung-Kwon Park
Hanyang University

Abstract

In this paper, based on an extended model containing correlator and soft decision decoding, the capacity is evaluated in the single-user case when the inputs are equiprobable. With this method, we adjusted optical communication over AWGN. It is found that only when bit-signal-to-noise ratio (bit-SNR) is high enough, larger M leads to higher capacity; and for a specific M, the optimal values of PPM time offset parameter T_d , which maximize the capacity, are independent of bit-SNR. In this paper, the capacity of UWB system in optical fiber over AWGN is proven to improve 1.73 times larger than AWGN channel Capacity.

I. 서론

UWB는 몇 GHz에 해당하는 넓은 대역폭에 에너지를 확산시켜 정보를 전송하는 극단적으로 좁은(짧은) 펄스를 이용한다. 샤논 이론[1]의 계산식을 이용하면, 용량은 $C = W \log_2(1+SNR)$ bits/s로 쓸 수 있다. 여기서 W은 대역폭이다. 위 공식을 사용함으로써 UWB 시스템의 큰 채널용량을 증명할 수 있다. M-ary Pulse Position 변

조(M-ary PPM)와 Time Hopping(TH)은 오늘날 UWB 시스템에 넓게 적용될 수 있다. 이산적인 입력을 가진 시스템은 연속적인 입력과 출력에 적합하게 만들어진 위의 채널용량공식으로는 적합하게 계산할 수 없다. 정보이론을 이용하여 고려해보면 PPM UWB 시스템의 채널용량은 더욱 더 발전할 수 있다.

PPM은 적외선 통신과 Optical 통신에 오래전부터 사용되어져 왔고, PPM 시스템의 채널용량은 AWGN 채널에서 고정된 파워의 이산 입력과 고정되지 않은 파워의 연속 출력을 이용한 소위 말하는 "순수한 PPM"으로 잘 알려져 있다[2]. 고정된 전력의 AWGN 채널을 이용한 순수한 PPM model을 사용한 이전의 채널용량 결과는 UWB 시스템의 채널용량을 과장 시킨다.

본 논문에서는, AWGN Optical Fiber에서 M-ary PPM의 채널용량 계산방법을 소개한다. 일정한 확률의 입력 일때 이루어진 채널용량을 UC(unshaped capacity)라고 한다. 이 방법을 이용하여 단일 사용자의 경우를 조사하겠다. 마지막으로, 수학적인 결과는 주어진 이론으로 보강 하겠다.

II. UWB 시스템

2.1 UWB 채널 모델

M-ary TH-PPM UWB 시스템의 기본모델을 채널용량 분석을 위하여 그림 1의(a)에 보이는 간략화된 직렬모

델을 사용하였다. 그림에서 S,Z와 Y는 $A_1s^{(1)}(t)$, $r(t)$ 와 y_m 에 각각 상응한다. 그리고 채널 1은 AWGN이고 $n(t)$ 에 상응한다. 순수한 PPM의 채널용량은 [3]에서 공부하였다. 실제의 채널용량은 S부터 Z까지이다.

Y는 전적으로 Z에 의하여 결정되며, Z는 오직 S에 의존한다. 그림1(a)의 직렬모델은 Markov 체인형태이다. 우리는 데이터 프로세싱 부등식으로 알려진 상호정보를 위하여 주어진 관계를 따를 것이다.

$$I(S;Z) = I(S;Y) + I(S;Z|Y) \geq I(S;Y) \quad (1)$$

S와 Z는 통계적으로 Y의 상태에 독립적이다[4],[5] 명백하게 S와 Z는 $Z=S+N$ 에 관련되어 있다.여기서 N은 가우시안 프로세스이다. 그리고 비록 상관기 명령이 결정자이더라도 Z로부터 Y로의 변형은 있을 수 없다. 또한 S와 Z는 주어진 Y에 상호 의존적이고, $I(S;Z) > I(S;Y)$ 이다.

채널용량과 평균 상호 정보사이의 관계에 따르면, 우리는 순수한 PPM모델을 기본으로 한 채널용량이 UWB 시스템의 실제 채널용량보다 크다고 결정내릴 수 있다.

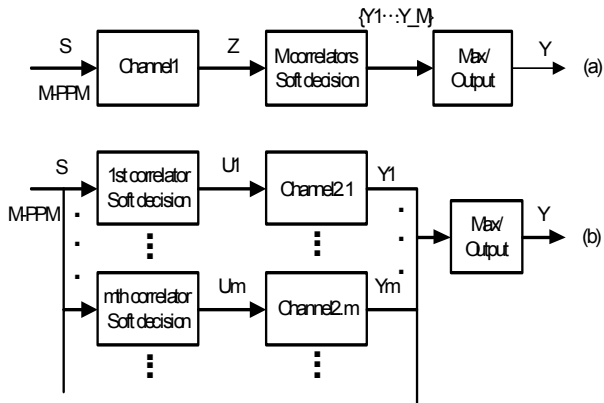


그림 1. 채널용량 분석을 위한UWB 채널 original (a)와 동등한 (b)모델

2.2 UWB 시스템의 UC(unshaped capacity)

단일 사용자일 경우, $n_{N_u, m} = 0$ 과 $V_m = n_m$ 이다. 템플릿 신호 $X_{i,m}$ 이 결정자이면 n_m 은 평균을 0이고 분산은 $N_s \rho(0) \sigma^2 = N_s \sigma^2 \triangleq \sigma_1^2$ 인 가우시안 랜덤 변수이다[7]. 모든 m에 대하여 명백하며, V_m 은 같은 분포를 갖는다. 우리는 두 개의 독립적인 변수의 결정함수를 알고 있다[8]. $n(t)$ 와 $s^{(1)}(t)$ 사이의 독립가설을 따르면 V_m 과 U_m 은 독립이다. 그러므로 UWB시스

템을 사용하는 단일 사용자의 UC는

$$C_1 = \max_m H(Y_m) - 1/2 \ln(2\pi e \sigma_1^2) \quad (2)$$

이다.

$$H(Y_m) = -\int_{-\infty}^{\infty} p(y_m) \ln p(y_m) dy_m \quad (3)$$

을 변형시키면,

$$p(y_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M \sigma_1}} \sum_{i=1}^M \exp\left[-\frac{(y_m - u_{m,i})^2}{2\sigma_1^2}\right] \quad (4)$$

이 되고 $x_m = y_m / \sigma_1$ 로 놓는다면,

$$p(x_m) = \sigma_1 p_{y_m}(\sigma_1 x_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M \sigma_1}} \sum_{i=1}^M \exp\left[-\frac{1}{2}\left(x_m - \frac{u_{m,i}}{\sigma_1}\right)^2\right] \quad (5)$$

이 되고, C_1 은

$$C_1 = \max_m \left\{ -\ln \sqrt{2\pi e} - \int_{-\infty}^{\infty} p(x_m) \ln p(x_m) dx_m \right\} = \max_m \left\{ -\ln \sqrt{2\pi e} - E_{x_m} [\ln p(x_m)] \right\} \quad (6)$$

으로 다시 쓸수 있다.

$E_{x_m} [\ln p(x_m)]$ 은 $\ln p(x_m)$ 의 기대치로 표현된다.

$$\frac{u_{m,i}}{\sigma_1} = \frac{A_1 N_s \rho((i-m)T_d)}{\sqrt{N_s \sigma_1}} = \sqrt{SNR_b} \rho((i-m)T_d) \quad (7)$$

C_1 은 식(7)의 비율에 의존한다.

III. Optical 통신 시스템

$$F = k_{eff} G + (2 - 1/G)(1 - k_{eff}). \quad (8)$$

실리콘 APD는 800나노미터의 파장에서 80퍼센트에 가까운 획기적인 효율을 가지고 있고, k_{eff} 의 값은 0.006만큼 낮다[19].

Q-ary PPM 신호에서, L 이진 소스비트는 매 T초의 타임 슬롯에 $Q=2^L$ 의 하나 광 펄스로 전송된다. 출력 파형은 정수평균 파워를 가지고 있고, 피크 파워는 Q 배 크다. 반도체 레이저 다이오드는 피크와 제한된 평균파워를 가지고 있다. PPM신호 생성은 높은 피크파워를 짧은 기간의 펄스를 쓴다. 이것은 쉽게 백그라운드에서 분리되고 Q만큼 열잡음이 증가한다. 피크 파워는 보통 8또는 그보다 작은 Q로 제한되어있는 반도체 레이저로 제한 되어있다.

IV. Optical fiber에서의 AWGN채널

Optical 통신 시스템에서 APD 검출기를 사용한다. 흡수된 광자의 숫자 n 은 전체 Optical 파워와 관련이 있는 평균 \bar{n} 가지고 있는 Poisson 랜덤변수로 나타낼 수 있고, 흡수되는 시간은 T_s , $\bar{n} = (\eta / h\nu) \int_0^{T_s} P(t) dt$ 로 나타낼 수 있으며, η 은 검출기의 획기적인 효율이고 $h\nu$ 는 광자 에너지이다.

우리는 식(5)에 쓰여진 분산과 평균으로 \bar{C}_1 를 나타낼 수 있다.

$$p(x_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M \sqrt{nG^2 F}}} \sum_{i=1}^M \exp \left[-\frac{1}{2} \left(x_m - \frac{u_{m,i}}{\sqrt{nG^2 F}} \right)^2 \right] \quad (9)$$

$$\bar{C}_1 = \max_m \left\{ -\ln \sqrt{2\pi e} - E_m \left[\ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi M \sqrt{nG^2 F}}} \sum_{i=1}^M \exp \left[-\frac{1}{2} \left(x_m - \frac{u_{m,i}}{\sqrt{nG^2 F}} \right)^2 \right] \right) \right] \right\} \quad (10)$$

그림 5. 클라이언트에서 외부로 연결되는 모습

V. 시뮬레이션 및 결과

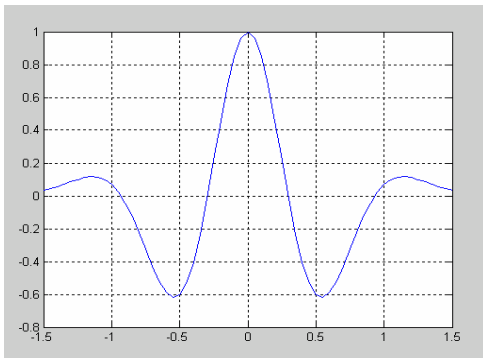


그림 2. 표준화된 자기상관함수

이 그림은

$$\rho \left(\frac{\tau}{\tau_c} \right) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{\tau}{\tau_c} \right)^2 + \frac{4\pi^2}{3} \left(\frac{\tau}{\tau_c} \right)^4 \right] \exp \left[-\pi \left(\frac{\tau}{\tau_c} \right)^2 \right] \quad (11)$$

인 $w(t / \tau_c)$ 의 표준화된 자기상관함수이다.

분석을 위하여 τ_c 의 의존하지 않고, 우리는 변수같은 t / τ_c 의 비율을 사용한다. Optical fiber의 채널용량은 타임 offset인 T_d 에 의존한다. 만약 채널용량을 T_d / τ_c 로 미분한다면 우리는

$$\frac{\partial \rho \left((i - m) T_d / \tau_c \right)}{\partial (T_d / \tau_c)} = 0 \quad (12)$$

를 찾을 수 있을 것이다.

\bar{C}_1 (단일 사용자의 평가)의 정확한 컴퓨터 사용은 매우 복잡하다. Riemann Integral 또는 가우시안 Hermite quadrature[9]같은 수학적 기술을 사용함으로써 근접한 컴퓨터 사용을 하여 \bar{C}_1 의 표현에서 적분을 계산하였다. 식(6)의 기대치 평가는 via Monte Carlo 시뮬레이션 방법으로 교체 하였다.

시뮬레이션 프로세스의 첫 번째로 pdf $p(x_m)$ 을 따라 pseudo-random 수를 발생하였다. 그리고 나서 새로운 데이터를 생산하기 위한 모든 샘플 $\ln(p(x_m))$ 의 함수를 적용시켰다. 마지막으로 그들의 평균은 기대치에 가까웠다. 두 방법을 이용하여 근사한 값을 이끌어 내었다.

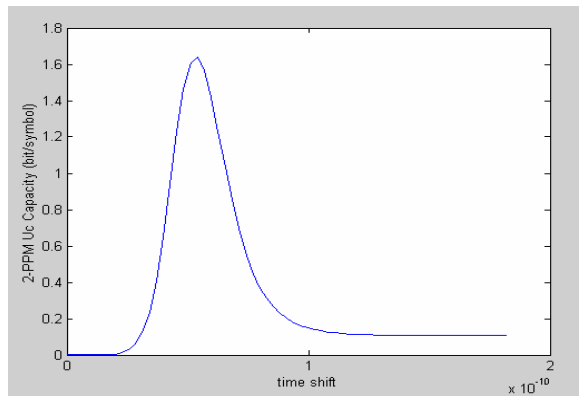


그림 3. AWGN Optical fiber에서 단일사용자의 채널용량

그림3은 AWGN Optical fiber에서 PPM UWB가 단일 사용자 일 때 채널용량을 보여준다. 이것은 AWGN 채널용량보다 1.73배 더 커진 용량을 증명한다. 이 경우에 $(i - m) T_d / \tau_c$ 는 +0.5408에서 최대 채널용량값을 가진다.

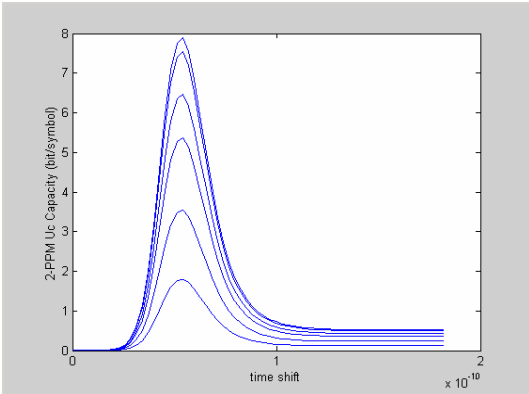


그림4..AWGN Optical fiber에서 M-ary PPM의 채널용량

그림4는 M-PPM UWB 시스템의 UC를 그리고 있다. M이 증가하면, 채널용량 또한 증가한다. 이 결과에서 Optical fiber이 AWGN 채널보다 더 큰 채널용량을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. +0.5408에서 최대 채널용량을 볼 수 있다.

VI. 결론

전의 결과에서 순수한 PPM 모델은 실제의 UWB의 채널용량보다 크게나온다는 것을 알았다. 상관기와 소프트 decision 복호기를 포함하는 확장된 모델에 근거하여, 입력 값이 확률적으로 똑같이 일어났을 때의 UC(unshaped capacity)를 평가하였다. 이것을 통하여 Optical fiber 시스템에서 bit-SNR이 작아질 때 M이 작아질수록 높은 UC를 얻을 수 있다. 그리고 bit-SNR이 충분히 클 때 큰M은 좀 더 큰 용량을 산출한다. Optical fiber 시스템에서 기존의 AWGN 채널용량보다 1.73배크게 나온것을 볼 수 있다. $T_{d_i} \tau_c$ 가 +0.5408일 경우, AWGN Optical fiber 환경에서의 용량이 최대의 용량을 가진다. 또한 모든 bit-SNR에서 $T_{d_i} \tau_c$ 가 +1.1398일 때 최소의 용량을 가진다. 그리고 bit-SNR이 충분히 커진다면 용량은 빠르게 증가하고, $T_{d_i} \tau_c < 0.5408$ 에서 가장 최대의 값에 도달하게 된다.

더욱이, M 이증가함에 따라 AWGN Optical fiber환경에서의 M-ary UWB시스템 용량도 증가한다. 그러나 M 이 충분히 커지면 용량은 더 이상 커지지 않고 어떤 값에 수렴하게 된다.

참고문헌

[1] C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication," The Bell System Technical Journal,

vol. 27, pp. 379423, 623656, 1948.

[2] S. Dolinar, D. Divsalar, J. hamkins, and F. Pollara, "Capacity of pulseposition modulation (PPM) on gaussian and webb channels," LPL TMO Progress Report, pp. 42142, August 15 2000.

[3] L. Zhao and A. M. Haimovich, "Capacity of M-ary PPM Ultra-Wideband communications over AWGN channels," IEEE VTC '01 Fall, pp. 11911195, Oct. 2001.

[4] T. M. Cover and J. A. Thomas, Elements of Information Theory. New York: John Wiley & Sons Inc., 1991.

[5] R. G. Gallager, Information Theory And Reliable Communication. John Wiley & Sons, Inc., 1968.

[6] S. Zerisberg, C. Muller, and J. Siemes, "Performance limits of Ultra-Wideband basic modulation principles," IEEE International Conf. on Communications (ICC), pp. 816820, 2001.

[7] S. Verdú, Multi-user Detection. Cambridge University Press, 1998.

[8] V. K. Rohatgi and A. K. M. E. Saleh, An Introduction to Probability and Statistics, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

[9] P. F. Davis and P. Rabinowitz, Methods of Numerical Integration, 2nd ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1984.

[10] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications,"IEEE Trans. Commun., vol. 48(4), pp. 679691, Apr. 2000.

[11] J. Conradi, "The distribution of gains in uniformly multiplying avalanche photodiodes: Experimental," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-19, pp. 713-718, June 1972

[12] S. D. Personick, P. Balaban, and J. H. Bobsin, "A detailed comparison of four approaches to the calculation of the sensitivity of optical fiber system receivers," IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, pp. 211-221, May 1977.

[13] L. L. Jeromin and V. W. S. Chan, "Performance of a coded optical communication system using and APD direct detection receiver," in Proc. IEEE Int. Conf Commun. (ICC'83), Boston, MA, June 1983, pp. 235-244