

# M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템의 성능

김종한\* · 이정석\* · 윤경호\*\* · 김원후\* · 김정선\*

## Performance of M-ary Antipodal Ultra Wideband Communication System

Jong Han Kim\*, Jung Suk Lee\*, Kyoung Ho Yoon\*\*,  
Won Hoo Kim\*, and Jung Sun Kim\*

### 요약

본 논문에서 초광대역 시스템의 데이터 변조를 위해 Antipodal 신호를 이용 한다. 이 신호는 신호간의 유클리드 거리가 최대가 되고 상관값이 -1 또는 0이 되며, 이를 이용하여 M진 신호를 구성하는 방식으로 데이터를 변조한다. 또한 시간 도약 부호를 적용하여 다중접속 시스템을 구성한다. Antipodal 신호를 이용되는 펄스는 가우시안 모노펄스와 레일리 모노펄스이고 이를 적용하여 AWGN에서 두 종류의 펄스에 대한 오류확률, 다중접속시 사용자의 수, 전송 속도에 대해 수치해석을 하여 두 시스템의 성능을 비교, 분석하였다.

### ABSTRACT

In this paper, We use Antipodal signal for data modulation of Ultra Wideband(UWB) system. This has maximum Euclidean distance and -1 or 0 of correlation values. With adapting this signal to M-ary that and time hopped pattern, We designed multiple access system. UWB Antipodal signal employes Gaussian monopulse and Rayleigh monopulse. Using these signals, we analysis and compare error probability, the number of user and data rate of the two systems under the AWGN.

### Keyword

UWB, M-ary, Multiple Access, Monopulse

## 1. 서론

초광대역(Ultra Wideband : UWB) 통신 시스템은 연속적인 초고주파 반송파를 이용하지 않고 수 nsec이하의 좁은 펄스 폭을 갖는 모노펄스를 이용하여 정보를 전송하는 기술이다. 초광대역 통신 시스템은 매우 폭이 좁은 모노 펄스를 이용하여 통신을 하므로 거의

모든 주파수 대역 (0 Hz ~ 수 GHz)에 걸쳐 기저 대역 잡음 보다 훨씬 낮은 전력 스펙트럼 밀도의 특성을 갖는다. 그러므로 현재 사용하고 있는 타 무선 통신 시스템과 주파수 대역을 공유하면서도 그 시스템에는 간섭을 전혀 발생시키지 않는 것이 특징이다[1],[2].

이러한 초광대역 시스템에서 데이터 변조는 펄스 위치 변조(Pulse Positioning Modulation : PPM)와

\* 한국항공대학교 전자공학과

\*\*투비 텔레콤

접수일자: 2001. 10. 6

Antipodal 방법이 있다. 그러나 본 논문에서는 신호간의 유클리드 거리가 최대가 되고 상관값이 -1 또는 0이 되어 복조가 상대적으로 유리한 Antipodal 방법을 사용하여, M진 신호를 구성하고[3], 또한 시간 도약 부호를 적용하여 다중 접속 시스템을 구성한다. Antipodal 신호를 이용되는 펄스는 가우시안 모노펄스와 레일리 모노펄스이고 이를 적용하여 AWGN에서 두 종류의 펄스에 대한 오류확률, 다중접속시 사용자의 수, 전송 속도에 대해 수치해석을 하여 두 시스템의 성능을 비교, 분석하였다.

## II. M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템

### 2-1 초광대역 신호 송신

수 nsec 이하의 폭을 갖는 가우시안 모노펄스 및 레일리 모노펄스를 사용하며, 데이터를 변조하기 위해 Antipodal 방식을 이용하고 다중접속을 위해 시간 도약된 M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템은 한 심볼에 대해  $N_s$ 개의 모노펄스를 기본 클록 주기  $T_c$ 의 정수 배로 전송한다. 식(1)은 사용자  $\nu$ 에 대한 전송 가능한 송신 신호를 나타낸 것이다[3],[4].

$$s_i^{(\nu)}(t) = \sum_{k=iN_s}^{(i+1)N_s-1} a_i w(t-kT_f) - c_k^{(\nu)} T_c - \delta_i^{(\nu)} \quad (1)$$

여기서  $w(t)$ 는 전송된 기본 모노펄스,  $\nu$ 는 사용자의 수,  $i$ 는 M개의 심볼 중  $i$ 번째 심볼을 나타낸다.  $T_f$ 는 프레임 시간(Frame Time) 또는 펄스 반복 시간(Pulse Repetition Time)으로 2~5000 nsec이다. 한 심볼의 주기는  $T=N_s T_f$ 이다. 여기서  $N_s$ 는 한 심볼에 대해 전송된 펄스의 수이다.  $\{c_k^{(\nu)}\}$ 는  $\nu$ 번째 사용자의  $k$ 번째 시간도약 부호로  $c_{k+iN_s}^{(\nu)} = c_k^{(\nu)}$ 을 만족하는 주기  $N_p$ 를 가지는 주기적인 의사 랜덤 코드(Pseudorandom Code)이다. 시간 도약 부호는  $0 \leq c_k^{(\nu)} < N_h$ 의 범위의 정수값을 갖는다. 다중접속에서 펄스의 충돌을 피하기 위해서는  $N_h T_c \leq T_f$ 을 만족해야 한다.

기존의 PPM 방식은 펄스의 위치를 변화시켜, 다시 말하면 기본 모노펄스의 시간을 기준하여  $\delta_i^{(\nu)}$ 의 위

치를 심볼에 따라 기준 시간보다 빠르게 하거나 느리게 함으로써 데이터를 변조하였으나, Antipodal 방식에서 데이터의 변조는 심볼의 진폭  $a_i$ 에 의해 결정된다. Antipodal 신호의 구성에 의해  $a_i = (-1)^{i+1}$  ( $i=1, 2, \dots, M$ )가 되므로, PPM 방식과 달리  $\delta_i^{(\nu)}$ 는 프레임 내에서  $i$ 번째 심볼의 위치와 관련된 시간천이항이다.  $\delta_i^{(\nu)} = [(\lfloor (i+1)/2 \rfloor + k - 1) \bmod (M/2)] T_w$ 이라고 가정한다. 여기서  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 의 정수 배이고  $T_w$ 는 모노펄스의 폭이며,  $2MT_w \ll T_f$ 의 관계를 갖는다. 식(1)에서 신호  $s_i^{(\nu)}(t)$ 의 에너지를  $E_s = \int_{-\infty}^{\infty} [s_i^{(\nu)}(t)]^2 dt$ 라 하면, 정규화된 상관값은 아래와 같다[5].

$$\begin{aligned} \alpha_{ij} &= \frac{R_{ij}}{E_s} \\ &= \frac{1}{E_s} \int_{-\infty}^{\infty} s_i^{(\nu)}(t) s_j^{(\nu)}(t) dt \\ &= \frac{1}{N_s} \sum_{k=0}^{N_s-1} a_i a_j \gamma_w(\delta_i^{(\nu)} - \delta_j^{(\nu)}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\gamma_w(\tau)$ 는 기본 모노펄스의 상관함수이다. 식(2)에서  $\alpha_{ij}$ 는 Antipodal 신호의 구성에 의해 Antipodal 신호인 경우의 상관값은 -1이 되고 서로 직교인 신호인 경우의 상관값은 0이 된다.

### 2-2 다중접속 간섭 모델

본 논문은 다중접속 간섭에 의한 성능 평가를 위해 아래와 같이 가정하였다[5].

(1)  $\nu=1, 2, \dots, N_u$ 에 대해 신호  $s_i^{(\nu)}(t-\tau_\nu)$ 와 잡음  $n(t)$ 는 모두 독립적으로 발생한다.

(2)  $\{c_k^{(\nu)}\}$ 는 IID(Independent, Identically Distributed) 랜덤변수이고  $[0, N_h]$ 에서 균일하게 분포한다. 또한 한 심볼시간 안에 시간 도약 부호가 한번 이상 발생하지 않도록  $N_s \leq N_p$ 이라고 가정한다.

(3) 전송 시간차  $\tau_\nu - \tau_1$  ( $\nu=2, 3, \dots, N_u$ )도  $[0, T_f]$ 에서 균일하게 분포하는 IID 랜덤변수라 한다.

(4) 수신된 모노펄스  $w(t)$ 는  $\int_{-\infty}^{\infty} w(t) dt = 0$ 을 만족한다.

2-3 초광대역 수신 신호

다중접속 시스템에서  $N_u$ 개의 송신기와 수신기가 동작하고 있다면, 사용자  $\nu=1$ 의  $i$  번째에 대한 수신 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{\nu=1}^{N_u} A_{\nu} s_i^{(\nu)}(t - \tau_{\nu}) + n(t) \quad (3)$$

$$= A_1 s_i^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t)$$

여기서  $n_{tot}(t)$ 는 다중접속 간섭과 열 잡음의 합으로 표현되며, 평균 0인 가우시안 랜덤 과정이라고 가정한다. 즉,  $n_{tot}(t)$ 는

$$n_{tot}(t) = \sum_{\nu=2}^{N_u} A_{\nu} s_i^{(\nu)}(t - \tau_{\nu}) + n(t) \quad (4)$$

가 된다.  $A_{\nu}$ 와  $\tau_{\nu}$ 는 각각 사용자  $\nu$ 의 신호와 관련된 감쇠 및 지연 시간이다.

M개의 신호를 검출하기 위해서는 수신단에 입력되는 수신 신호와 M개의 기준 신호를 상관시켜야 한다. M이 증가하게 되면, 수신단의 회로설계가 복잡하게 된다. 그러나 Antipodal 방식은 상호 직교성을 가지면서 서로 반대의 극성을 갖는 신호를 구성할 수 있어 수신기는 한 개의 상관기와 M개의 저장 및 가산(store and sum)회로로 간단하게 구성될 수 있다. 이렇게 구성된 수신기에서 신호의 판정은 M개의 저장 및 가산 회로 중에서 가장 큰 출력을 수신된 신호로 판정한다.  $i$ 번째 저장 및 가산회로의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_i = \int_{iNT_s + \tau_s}^{((i+1)N_s - 1)T_s + \tau_s} r(t) s_i^{(\nu)}(t - \tau_{\nu}) dt$$

$$= \sum_{k=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M/2-1} \delta_{m, [(i+1)/2 + k - 1] \bmod (M/2)} \times y_m(k) \quad (5)$$

여기서

$$y_m(k) = \int_{kT_s + mT_s + \tau_s}^{kT_s + (m+1)T_s + \tau_s} r(t) \times w(t - kT_s - c_k^{(\nu)} T_s - mT_s - \tau_{\nu}) dt \quad (6)$$

이다.

III. M진 Antipodal 초광대역

통신 시스템의 성능

3-1 신호 대 잡음비와 오류확률

M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템에서 다중접속 수신기의 성능을 해석하기 위한 심볼 오류확률  $P_M(N_u)$ 은 Antipodal 신호의 구성에 의해 심볼 오류확률은 Antipodal 신호에 대한 항과 서로 직교하는 항으로 나누어진다[6],[7].

$$P_M(N_u) = Q(\sqrt{SNR(N_u)}) + (M-2)Q\left(\sqrt{\frac{SNR(N_u)}{2}}\right) \quad (7)$$

여기서  $SNR(N_u)$ 는 심볼에 대한 신호 대 잡음비이다.

$$SNR(N_u) = \frac{m^2}{\sigma_{tot}^2} \quad (8)$$

식(8)에서  $m^2$ 은 통신로 상에서 감쇠되어 지연된 사용자  $\nu=1$ 의 송신 신호가 수신기의 상관기를 거쳐 나온 신호 전력이 되고  $\sigma_{tot}^2(N_u)$ 는 다른 사용자에 의한 간섭  $\{n^{(\nu)}\}$  ( $\nu=2, 3, \dots, N_u$ )와 열 잡음  $n(t)$ 의 합인  $n_{tot}(t)$ 가 상관기를 거쳐 나온 신호의 전력이다.

$$m = \int_{t \in T_m} A_1 s_i^{(1)}(t - \tau_1) s_{i,j}^{(1)}(t - \tau_1) dt = A_1 E_s(1 - \alpha_{ij}) \quad (9)$$

$$\sigma_{tot}^2(N_u) = E\left\{\left[\int_{t \in T_m} n_{tot}(t) s_{i,j}^{(1)}(t - \tau_1) dt\right]^2\right\}$$

$$= \sum_{\nu=2}^{N_u-1} A_{\nu}^2 E\{|n^{(\nu)}|^2\} + \sigma_{rec}^2 \quad (10)$$

$$n^{(\nu)} = \int_{t \in T_m} s_i^{(\nu)}(t - \tau_{\nu}) s_{i,j}^{(1)}(t - \tau_1) dt \quad (11)$$

여기서  $s_{i,j}^{(\nu)}(t - \tau_{\nu}) = [s_i^{(\nu)}(t - \tau_{\nu}) - s_j^{(\nu)}(t - \tau_{\nu})]$ ,  $t \in T_m = [\tau_1 + iN_s T_s, \tau_1 + \{(i+1)N_s - 1\}T_s]$ 이다.

$n^{(\nu)}$ 는 사용자  $\nu$ 에 의한 다중접속 잡음 성분으로  $E\{n^{(\nu)}\} = 0$ 가 되고  $E\{|n^{(\nu)}|^2\}$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$E\{|n^{(\nu)}|^2\} \cong N_s \sigma_a^2 \quad (12)$$

$\sigma_a^2$ 은 다음과 같이 나타낸다.

$$\sigma_a^2 = T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} w(x-s) \times \{w(x) - w(x-\tau)\} dx \right]^2 ds \quad (13)$$

만약 사용자  $\nu=1$ 일 때 식(10)은 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \sigma_{tot}^2(1) &= \sigma_{rec}^2 = E \left\{ \left[ \int_{t \in T_m} n(t) s_{i,j}^{(1)}(t - \tau_1) dt \right]^2 \right\} \\ &= N_0 E_s (1 - \alpha_{ij}) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서  $E\{|n|^2\} = N_0/2$ 이다. 그러므로 사용자  $\nu=1$ 의 심볼에 대한 신호 대 잡음비  $SNR(N_u)$ 는 다음과 같다.

$$SNR(N_u) = \frac{A_1^2 E_s (1 - \alpha_{ij})}{N_0} \quad (15)$$

식(7)을 비트 오류확률  $P_b(N_u)$ 로 다시 나타내면 다음과 같다[8].

$$P_b(N_u) = Q\left(\sqrt{SNR_b(N_u)}\right) + \frac{(M-2)}{2} Q\left(\sqrt{\frac{SNR_b(N_u)}{2}}\right) \quad (16)$$

여기서  $SNR_b(N_u) = (m^2/\sigma_{tot}^2)/\log_2(M)$ 이다. 따라서  $N_u$ 의 사용자에게 의한 비트에 대한  $SNR_b(N_u)$ 는 다음과 같다[9].

$$\begin{aligned} SNR_b(N_u) &= \frac{m^2}{\sigma_{rec}^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{\nu=2}^{N_u-1} A_\nu^2} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{SNR_b(1)} + \frac{R_b T_f \sigma_a^2}{[E_w(1 - \alpha_{ij})]^2} \sum_{\nu=2}^{N_u-1} \left(\frac{A_\nu}{A_1}\right)^2} \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 전송속도  $R_b = \log_2(M)/N_s^{(b)} T_f$ 와 모노 펄스  $w(t)$ 의 에너지  $E_w = \int_{-\infty}^{\infty} w^2(t) dt$ 이며,  $N_s^{(b)}$ 는  $M=2$ 일 때 펄스의 수이다.

### 3-2 다중접속 시스템의 성능 평가

일반적으로 다중접속 시스템의 성능 평가는  $N_u-1$  사용자에게 의한 다중 접속 간섭의 영향을 줄이

기 위해 추가되는 SNR에 의해 결정된다. 다중 접속 간섭의 영향에 의해 추가되는 SNR을  $\mu = SNR_b(1)/SNR_b(N_u)$ 이라 가정하면  $\mu$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$\mu = \left[ 1 - SNR_b(N_u) \frac{R_b T_f \sigma_a^2}{[E_w(1 - \alpha_{ij})]^2} (N_u - 1) \right]^{-1} \quad (18)$$

그러므로  $\mu$ 에 의한 사용자의 수와 전송속도 다음과 같다.

$$N_u(\mu) = \frac{[E_w(1 - \alpha_{ij})]^2}{SNR_b(N_u) R_b T_f \sigma_a^2} \left( 1 - \frac{1}{\mu} \right) + 1 \quad (19)$$

$$R_b(\mu) = \frac{[E_w(1 - \alpha_{ij})]^2}{SNR_b(N_u) T_f \sigma_a^2} \left( 1 - \frac{1}{\mu} \right) \quad (20)$$

식(19)과 식(20)에서  $\mu$ 를 무한히 증가시켰을 때, 최대 사용자의 수와 최대 전송속도는 다음과 같다[9].

$$N_{\max} \triangleq \lim_{\mu \rightarrow \infty} N_u(\mu) = \frac{[E_w(1 - \alpha_{ij})]^2}{SNR_b(N_u) R_b T_f \sigma_a^2} + 1 \quad (21)$$

$$\begin{aligned} R_{\max} &\triangleq \lim_{\mu \rightarrow \infty} R_b(\mu) \\ &= \frac{[E_w(1 - \alpha_{ij})]^2}{SNR_b(N_u) T_f \sigma_a^2} \end{aligned} \quad (22)$$

## IV. 수치 해석

본 논문에서 제안한 M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템의 다중 접속 성능을 조사하기 위해 이상적인 전력 제어 조건( $\nu=1, 2, 3, \dots, N_u$ 일 때  $A_k = A_1$ )이라 가정하여, 가우시안 모노펄스 및 레일리 모노펄스의 오류확률, 다중 접속시의 사용자의 수, 전송속도를 각각 비교하였다. 또한  $\alpha_{ij}$ 는 Antipodal 신호의 구성에 의해 Antipodal 신호인 경우의 상관값은 -1이 되고 서로 직교인 신호인 경우의 상관값은 0이 된다.

일반적으로 모노펄스는 송신 안테나의 특성에 의해 1차 미분된 형태의 펄스가 전송되어 수신단의 상관기에 입력된다. 시간 영역에서 가우시안 모노펄스

$w_G(t; \tau_n)$ 와 레일리 모노펄스  $w_R(t; \tau_n)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[10].

$$w_G(t; \tau_n) = A \left[ 1 - 4 \left( \frac{t}{\tau_n} \right)^2 \right] e^{-2 \left( \frac{t}{\tau_n} \right)^2} \quad (23)$$

$$w_R(t; \tau_n) = 2\sqrt{e} A \frac{t}{\tau_n} e^{-2 \left( \frac{t}{\tau_n} \right)^2} \quad (24)$$

여기서 A는 펄스의 최대 진폭, t는 시간,  $\tau_n$ 은 펄스의 폭을 결정하는 파라미터로서 감쇠 시정수이다. 일반적으로  $\tau_n$ 은 1 nsec 이하의 매우 작은 값을 사용한다. 그림 1은 시간 영역에서 가우시안 모노펄스 및 레일리 모노펄스의 파형을 나타낸 것이다.

식(23)과 식(24)에서 펄스의 폭을 결정하는 파라미터  $\tau_n = 0.159$  nsec 이라면,  $SNR_b(N_s)$ 을 구하기 위한  $E_w^2$ 와  $\sigma_a^2$ 는 각각 가우시안 모노펄스일 때  $1.1169 \times 10^{-21}$ ,  $3.2458 \times 10^{-21}$ , 레일리 모노펄스일 때  $3.6679 \times 10^{-21}$ ,  $1.0964 \times 10^{-21}$  이 된다.

또한 M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템에서 심볼 간격은  $T = N_s T_f = \log_2(M)/R_b$  이므로  $T_f$ 가 고정되어 있을 때 ( $T_f = 5$ nsec),  $N_s$ 는  $N_s = 1/(R_s T_f) = \log_2(M) N_s^{(2)}$  가 되어  $N_s$ 는  $R_b$ 에 의해 결정된다. 심볼의 에너지는  $E_s = N_s E_w = \log_2(M) E_b$ 이라고 정의한다. 여기서  $N_s^{(2)}$ 는 M=2일 때 사용된 펄스의 수이다. 그러므로  $N_s^{(b)} = 200$ 일 때  $R_b = 1$  Mbps이라고 가정한다.

그림 2와 그림 3은  $E_b/N_0 = 10.53$ dB일 때 M의 변화에 따라 사용자의 간섭의 영향을 사용자의 수에 의한 오류확률로 나타낸 것이다. 다중접속 시에도 M진으로 신호를 구성하면 시스템의 성능을 향상시킬 수 있으나, 사용자가 늘어나면 M진 시스템의 효과는 점점 줄어들게 된다.

그림 4과 그림 5은  $R_b = 1$  Mbps, 사용자의 수가 1000명에 대하여 시스템의 오류확률  $P_b(1) = 10^{-6}$ 을 만족하였을 때 추가 전력  $\mu$ 와 전송속도의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서  $\mu$ 가 약 10dB를 넘어서면 전송속도의 증가가 둔화되는 것을 볼 수 있다.

## V. 결론

본 논문은 A신호간의 유클리드 거리가 최대가 되며 상관값이 -1 또는 0이 되는 Antipodal 신호를 이용하여 M진 신호를 구성하고 시간 도약 부호를 이용하여 다중접속 시스템을 구성한 후 가우시안 모노펄스와 레일리 모노펄스를 이용하여 시스템의 성능을 분석하였다. M이 증가할수록 가우시안 모노펄스에 대한 사용자수와 전송속도가 레일리 모노펄스보다 약간 더 증가하게 된다.

또한  $\mu = 10$  dB 이상에서  $\mu$ 에 대한 전송속도의 증가는 둔화되므로 시스템 설계시  $\mu$ 는 10 dB 이내로 설정해야 최적의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] L. W. Fullerton, "Reopening the electromagnetic spectrum with ultrawideband radio for aerospace", IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2000, vol. 1, pp. 201-210, 2000.
- [2] P. Witthington, "Impulse Radio Overview", Time Domain Inc., 1998.
- [3] R. A. Scholtz, "Multiple Access with Time Hopping Impulse Modulation", Proc. IEEE MILCOM, pp. 447-450, Oct. 1993.
- [4] F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Multiple-Access with Time Hopping and Block Waveform PPM Modulation", Proc. IEEE ICC conference. pp. 775-779, June 1998
- [5] F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Wireless Multiple-Access Using SS Time-Hopping and Block Waveform Pulse Positioning Modulation, Part I : Signal Design", Proc. IEEE ISITA conference, Oct. 1998.
- [6] J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw Hill, 2001.
- [7] 진년강, 아날로그와 디지털 통신, 청문각, 1994.
- [8] F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Wireless Multiple-Access Using SS Time-Hopping and Block Waveform Pulse Positioning Modulation, Part II : System Performance", Proc. IEEE

ISITA conference, Oct. 1998.  
 [9] M. Z. Win, R. A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communication", IEEE Trans. on Comm. vol. 48, No. 4, pp. 679-691, Apr. 2000.  
 [10] J. T. Conroy, J. L. LoCierro, D. R. Ucci, "Communication Techniques Using Monopulse Waveforms", MILCOM, vol.2, pp. 1181-1185, 1999.

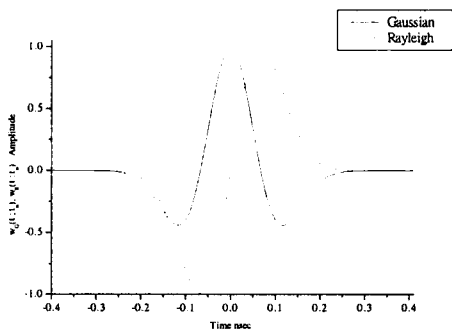


그림 1. 이상적인 가우시안 및 레일리 모노펄스의 파형  
 Fig. 1 Waveform of idealized Gaussian and Rayleigh monopulse

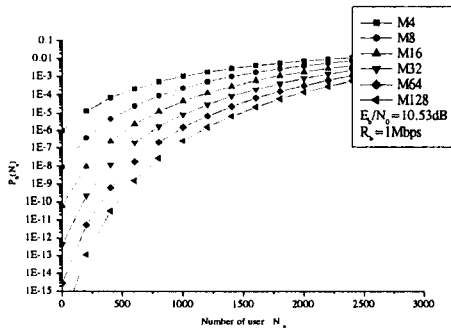


그림 2. 사용자의 수에 따른 오류확률 (가우시안 모노펄스)  
 Fig. 2 Probability of Error as Number of User(Gaussian Monopulse)

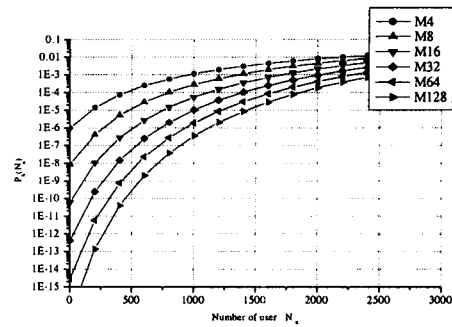


그림 3. 사용자의 수에 따른 오류확률(레일리 모노펄스)  
 Fig. 3 Probability of Error as Number of User(Rayleigh Monopulse)

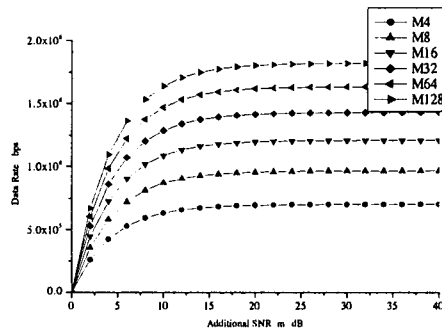


그림 4. 추가 SNR  $\mu$ 에 따른 전송속도 (가우시안 모노펄스,  $P_b(1) = 10^{-6}$ )

Fig. 4 The Data Rate as a function of  $\mu$  (Gaussian Monopulse,  $P_b(1) = 10^{-6}$ )

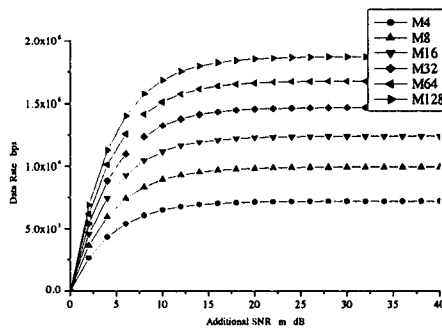
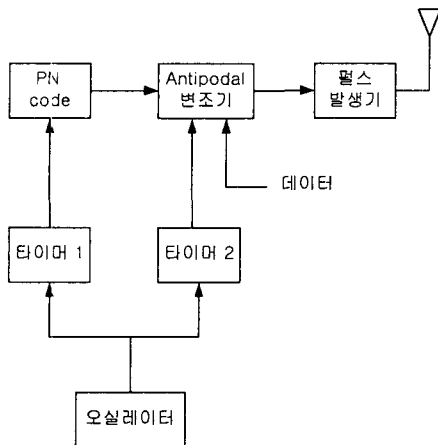
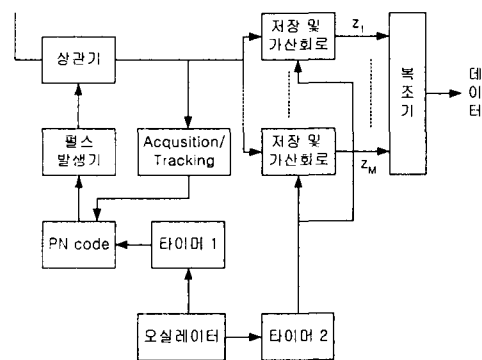


그림 5. 추가 SNR  $\mu$ 에 따른 전송속도 (레일리 모노펄스,  $P_b(1) = 10^{-6}$ )

Fig. 5 The Data Rate as a function of  $\mu$  (Rayleigh Monopulse,  $P_b(1) = 10^{-6}$ )



(a) 송신기



(b) 수신기

그림 6. 초광대역 통신 시스템의 송·수신기  
Fig. 6 Transmitter and Receiver for UWB System



김중한(Jong Han, Kim)

1980년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)

1982년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)

1994년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정 재학중

1983년 12월~2001년 3월 : 삼성전자 근무

주관심 분야 : 이동 통신 및 광전송 시스템 등

이정석(Jung Suk, Lee)

1987년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)

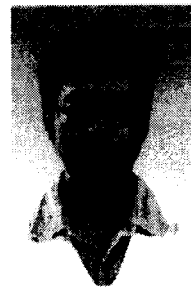
1989년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)

1989년~1992년 : 공군 장교

1993년~1995년 : 신세기 통신

1995년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정 재학중

주관심 분야 : 통신 이론 및 통신시스템 등



윤경호(Kyoung Ho, Yoon)

1984년 2월 : 인하대학교 응용물리학과 (이학사)

1987년~1990년 : 진전자 대표이사

1993년~1996년 : (주)정진전자 연구소장

1997년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)

1997년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정 재학중

1998년 3월~현재 : 투비 텔레콤 대표이사

주관심 분야 : 무선 통신시스템 등

김원후(Won Hoo, Kim)

1959년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)

1975년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)

1989년 8월 : 경희대학교 전자공학과 (공학박사)

1964년 4월~2000년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 교

수

2000년 2월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 명예교수

주관심 분야 : 스펙트럼 확산 통신, 무선통신, 항법 전자 등



김정선(Jung Sun, Kim)

1965년 2월 : 한국항공대학교  
항공전자공학과(공학사)

1972년 2월 : 한양대학교 전자  
공학과(공학석사)

1983년 2월 : 경희대학교 전자  
공학과(공학박사)

1984년 4월~현재 : 한국항공

대학교 항공전자공학과 교수

주관심 분야 : 컴퓨터 구조학