

실내 이동무선환경에서 동기 QPSK DS/CDMA 시스템의 다원접속간섭 제거방법

正會員 金南善*, 韓榮烈*

The Multiple Access Interference Cancellation Methods of Synchronous QPSK DS/CDMA System in Indoor Mobile Radio Environments.

Namsun Kim*, Youngcarl Han* Regular Members

要 約

본 논문에서는 QPSK 방식을 사용한 동기 직접대역확산 부호분할 다원접속(DS/CDMA)시스템에서 발생하는 다원접속간섭을 제거할 수 있는 방법들을 제시한다. 라이시안채널에서 실내이동통신 및 휴대통신을 위한 부호의 위상할당방법이 제안된다.

의사랜덤부호를 확산부호로 사용하였으며 하나의 고유한 부호를 이용하여 위상 오프셋된 부호를 각 사용자에게 할당하는 방법을 이용하였다. 본 논문에서는 두 가지의 간섭제거 방법이 제시된다. 첫번째는 종래의 수신기에 기준 상관수신기를 첨가시킨 방법이며 또 한가지는 사용자가 갖는 정보신호에 따라 확산부호를 할당하여 간섭을 제거시킨 방법이다.

이러한 방법들을 이용하여 직접 대역확산 부호분할 다원접속시스템에서 발생하는 다원접속간섭을 해석한다. AWGN 환경하에서 임의의 사용자에서 발생하는 간섭을 해석하고 평균 심볼오류확률을 분석한다.

ABSTRACT

In this paper, we present methods to cancel the multiple access interferences of synchronous QPSK direct-sequence code division multiple access(DS/CDMA) system. The code phase assignment technique is proposed for indoor mobile and portable communications in Rician fading channel.

PN sequences are used as spreading sequences and a common spreading sequence with different phase offsets is assigned to each user. We present two schemes to cancel the multiple access interferences. The first method is accomplished by adding the

*한양대학교 전자통신과
論文番號 : 94303-1102
接受日字 : 1994年 11月 2日

reference correlation receiver to the conventional receiver, and the other method assigns different spreading sequences to each user's information data.

Using these methods, We analyze the interference resulting from the other users and the average symbol error probability in AWGN environments.

제1장 서론

정보화사회에서 급증하는 이동통신 가입자를 수용하고 서비스를 다양화하기 위하여 이동통신의 디지털화가 요구되고 있다. 현재 개발되고 있는 디지털 셀룰러 이동통신방식인 CDMA 방식은 FDMA나 TDMA 방식에 비해 많은 사용자를 수용할 수 있다는 장점을 가진다. 직접 확산대역(Direct Sequence Spread Spectrum) 기법을 이용한 CDMA 디지털 이동통신시스템은 다수의 가입자가 동일한 반송파에 서로 다른 부호를 사용하여 각자의 정보를 동시에 주고받을 수 있는 방식이다. CDMA 이동통신시스템에서 각 사용자는 고유한 부호를 사용하여 발생시킨 의사랜덤부호(pseudo random sequence)로 정보를 대역확산시키고, 수신측에서는 동일한 부호를 이용하여 역확산시켜 정보를 획득하게 된다¹⁾. 그러나 이 방식은 모든 사용자가 동일한 주파수대역을 공유하기 때문에 인접 사용자의 간섭에 의해 용량이 제한된다. 그러므로 인접 사용자의 간섭은 시스템의 용량을 제한시키는 중요한 요소이며 이러한 간섭을 줄임으로써 성능을 증가시킬 수 있다.

EIA/TIA 권고안에 따른 셀룰러시스템의 순방향링크에서는 오프셋(offset)된 PN부호를 사용한다²⁾. 각 국가에서 모든 사용자의 신호는 2^{15} 주기 PN부호의 오프셋과 정확히 비트동기 또는 칩(chip)동기 되어 동일한 반송파에 의해 일괄적으로 전송된다. 또한 각 셀마다 동일한 주파수대역을 사용하므로 각 셀을 구별하기 위하여 각 셀마다 동일한 PN부호의 오프셋만이 다른 PN부호를 사용한다. 또한 실내 무선이동통신(indoor radio mobile communication) 및 휴대통신(portable communication)의 채널환경은 매우 진전히 변화하는 특성을 가진다. 즉, 채널조건(channel condition)이 빠르게 변화하지 않으므로 모든 사용자들 사이에서 비트동기가 가능하며 동기 DS/CDMA가 가능하다³⁾. Yip

와 Ng⁴⁾는 완전한 동기 DS/CDMA 시스템을 가정하고, 임의의 한 부호로 부터 얻은 각기 다른 오프셋부호를 이용하여 실내통신이나 휴대통신시스템에서 다중접근 용량(multiple access capacity)이 개선됨을 보였다.

본 논문에서 고려한 DS/CDMA 방식은 동기시스템을 가정하였으며 QPSK 변복조 방법을 사용하였다⁵⁾. 확산부호는 상관특성이 좋은 의사랜덤부호를 사용하였으며 이것을 이용하여 각 사용자에게 위상오프셋(phase offset)된 부호를 중복되지 않게 할당하였다. 이러한 시스템에서 발생하는 다원접속간섭을 제거하기 위해서 두가지 방법을 제안한다. 첫번째방법은, 종래의 상관수신기에 간섭을 제거할 목적으로 하는 기준 상관수신기(reference correlation receiver)를 첨가한 방법이다. 또 한가지 방법에서는, 사용자가 갖는 정보신호에 따라 오프셋된 의사랜덤부호를 중복되지 않게 할당하여 송신신호를 결정하였으며 수신측에서도 두개의 상관수신기를 이용하여 간섭을 제거하고 정보를 복원하는 방법이다.

DS/CDMA 시스템에서 특정 사용자의 신호를 복조할때 다른 사용자의 신호는 단지 다원접속간섭으로 작용하게 된다. 제안된 시스템은 이런 다원접속간섭을 현저하게 감소시키는 것을 보일 것이며 AWGN 환경하에서 임의의 사용자에서 발생하는 간섭을 해석하고 평균 비트 오류확률을 구할 것이다. 본 논문의 2장에서는 사용하는 확산부호에 대한 설명과 함께 두개의 간섭 제거방법을 제시한다. 3장에서는 임의의 사용자에 대한 실험오류확률을 구하며 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

제2장 DS/CDMA 시스템

일반적인 DS/CDMA 이동통신 시스템에서 각 사용자는 고유의 부호를 이용하여 발생시킨 의사랜덤부호로 송신정보를 대역확산 시키고, 수신측에서는 동일한 부호

를 이용하여 수신신호를 역확산하여 정보를 획득하게 된다^[1,3]. 여기서 사용한 의사랜덤부호는 발생하기 쉽고 좋은 상관특성을 갖고있다. n 단 쉬프트 레지스터(shift register)로 발생된 부호는 최장길이, $N(=2^n-1)$ 을 갖고며 두 레벨 자기상관값과 낮은 상호상관값을 갖는다^{[6][7]}.

제한한 시스템에서도 이러한 랜덤계열을 확산부호로 사용하지만 사용자에게 고유의 부호를 이용하여 발생시킨 의사랜덤부호를 확산부호로 할당하는 것이 아니라 기준부호를 이용하여 위상 오프셋된 임의의 부호를 중복되지 않게 할당한다. 기준부호를

$$c^{(0)}(t)=(c_0, c_1, \dots, c_{N-2}, c_{N-1}) \quad (2.1)$$

로 표시할때, 기준부호가 i 만큼 오프셋된 형태를 $c^{(i)}(t)$ 라 하면

$$c^{(i)}(t)=(c_j, c_{j+1}, \dots, c_{N-1}, c_0, c_1, \dots, c_{j-1}) \quad (2.2)$$

이며 이렇게 임의의 위상 오프셋된 부호가 사용자에게 확산부호로 할당된다.

2.1 기준 상관수신기를 이용한 DS/CDMA 시스템의 간섭해석

본 절에서는 기준상관기를 이용하여 AWGN 환경하에서 동기 QPSK 시스템에서 발생하는 인접사용자에 의한 간섭을 제거할 수 있는 방법을 제시할 것이다.

QPSK 시스템에서 T_b 의 기간을 갖는 각 사용자의 연속적인 데이터신호는 직렬-병렬 변환기(S/P:serial to parallel converter)에 의해 $2T_b$ 의 기간을 갖는 심볼 T 로 변환된다. 여기서 임의의 k 번째 사용자의 동상채널(in-phase channel) 및 이상채널(quadrature-phase channel)성분의 출력을 각각 $s_I^{(k)}(t)$, $s_Q^{(k)}(t)$ 라 하면, k 번째 사용자를 위한 송신기출력 $s^{(k)}(t)$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$s^{(k)}(t)=s_I^{(k)}(t)+s_Q^{(k)}(t) \quad (2.3)$$

그림 2.1은 QPSK방식을 사용한 송신시스템 모델이며 k 번째 사용자의 신호는 식 (2.4)와 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} s_I^{(k)}(t) &= A \cdot d_{2k-1}^{(k)}(t)c^{i(2k-1)}(t)\cos(\omega_c t) \\ s_Q^{(k)}(t) &= A \cdot d_{2k}^{(k)}(t)c^{i(2k)}(t)\sin(\omega_c t) \end{aligned} \quad (2.4)$$

k 번째 사용자의 연속적인 데이터 $d_{2k-1}^{(k)}(t)$ 와 $d_{2k}^{(k)}(t)$ 는 두 채널로 분리된다. 이렇게 분리된 데이터는 사용자에게 따라 각 채널에 할당되는 고유한 확산부호가 곱해져서 전송되며 다른 사용자의 신호도 같은 형태로 송신신호가 결정된다. 여기서 $d^{(k)}(t)$ 와 $c^{(k)}(t)$ 는 각각 k 번째 사용자가 갖는 정보신호와 고유하게 할당된 확산부호이며 다음과 같이 정의된다.

$$d^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j^{(k)} \cdot P_T(t-jT) \quad (2.5)$$

$$c^{(k)}(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m^{(k)} \cdot P_{T_c}(t-mT_c) \quad (2.6)$$

여기서

$d_j^{(k)}$: k 번째 사용자가 갖는 j 번째 정보신호로 +1 또는 -1의 값을 갖는다. 여기서 $d_j^{(k)}$ 와 $d_m^{(l)}$ 는 $j \neq m$, $k \neq l$ 라는 조건에서 상호 독립이다.

$c_m^{(k)}$: k 번째 사용자가 갖는 m 번째 확산신호로 +1 또는 -1의 값을 갖는다.

$P_T(t)$: $[0, T)$ 구간에서 정의되는 단위 구형 펄스이다.

$$P_T(t)= \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

T 와 T_c 는 정보간격과 칩간격으로 $T = N \cdot T_c$ 의 관계가 성립하며 각 비트는 N 개의 칩과 정확히 동기되어 있다.

각 사용자뿐 만 아니라 사용자의 각 채널에 할당되는 확산부호는 기준부호를 이용하여 위상 오프셋된 중복되지 않는 고유한 확산부호이다. 그러나 수신단에서 간섭 제거를 목적으로 간섭 제거부호를 사용해야 하기 때문에 임의의 오프셋된 한개의 부호는 송신단에서 사용자에게 할당하지 않는다. 본 논문에서는 해석의 목적으로 이 부호를 간섭 제거부호라 부르며 $c^{(n)}(t)$ 라 하겠다.

DS/CDMA 다원접속시스템에서, K 명의 사용자가 동일한 채널을 통하여 정보를 전송한다면 송신신호 $s(t)$ 는 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{k=1}^K \{s_I^{(k)}(t) + s_Q^{(k)}(t)\}, \quad 1 \leq K \leq \frac{N}{2} - 1 \quad (2.7)$$

여기서 n 의 쉬프트 레지스터로 발생된 최장길이 N 의

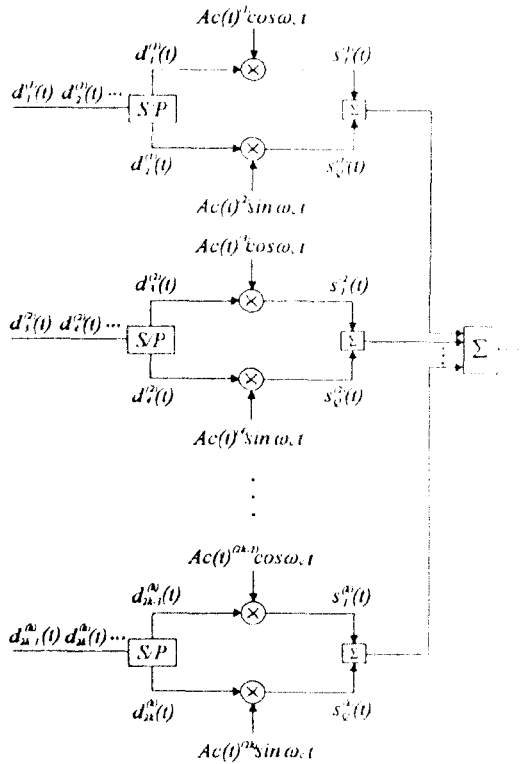


그림 2-1 QPSK 송신기모델

PN부호를 이용하여 수용할 수 있는 사용자수는 최대 사용자수 입장에서 고려한다면 간섭제거 부호를 뺀 $N/2-1$ 이 된다.

송신신호는 K 명의 사용자 신호의 합으로 표현되며 동일한 전송모를 통하여 전송된다. 이러한 신호들이 평균이 0이고 양측전력밀도(two-sided power spectral density)가 $N_0/2$ 인 백색 가우시안(AWGN)채널을 통과한 경우 수신신호 $r(t)$ 는 식 (2.8)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K [A \cdot d_{2k}^{(k)}(t-\tau) c^{(2k-1)}(t-\tau) \cos \omega_c(t-\tau) + A \cdot d_{2k}^{(k)}(t-\tau) c^{(2k)}(t-\tau) (t-\tau) \sin \omega_c(t-\tau)] + n(t) \quad (2.8)$$

여기서 τ 는 수신신호의 시간지연으로 $[0, T]$ 에서 모든 사용자에게 동일하게 주어져 있다.

동기 DS/CDMA 시스템에서 K 명의 사용자 신호중에

서 i 번째 사용자의 정보를 검출하기 위해 구성한 수신기 블록도는 그림 2.2와 같다.

수신된 신호는 동상채널과 이상채널로 분리된다. 또한 각 채널들은 두개의 브랜치, 위 브랜치(upper-branch)와 아래 브랜치(lower-branch)로 구성되어 있다. 여기서 각 채널에서 위 브랜치는 송신측의 동상채널 및 이상채널에서 사용한 동일한 부호를 이용하여 역확산시키는 상관수신기이다. 또한 아래 브랜치는 기준 상관수신기라 하며 송신단에서 남겨둔 간섭 제거부호를 역확산 부호로 사용하고 있다. 각 채널의 상관기 출력을 각각 $Z_{I,i}^{(i)}$, $Z_{Q,i}^{(i)}$ 이라하면 각 채널은 두개의 브랜치의 합으로 표시 될 수 있으며 다음 식과 같다.

$$Z_{I,i}^{(i)} = Z_{I,i,U}^{(i)} - Z_{I,i,L}^{(i)} \quad (2.9)$$

$$Z_{Q,i}^{(i)} = Z_{Q,i,U}^{(i)} - Z_{Q,i,L}^{(i)} \quad (2.10)$$

i 번째 사용자의 $2m-1$ 번째 정보는 임의의 시점 m 에서 $Z_{I,i}^{(i)}$ 의 출력을 관찰 하므로써 얻어지며, $2m$ 번째 정보는 $Z_{Q,i}^{(i)}$ 의 출력을 관찰 하므로써 얻을 수 있다. 그러므로 i 번째 사용자의 $(mT, (m+1)T)$ 구간에서 정보를 검출하기 위한 $Z_{I,i}^{(i)}$ 와 $Z_{Q,i}^{(i)}$ 는 다음과 같다.

$$Z_{I,i}^{(i)} = \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t dt - \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(K)}(t) \cos \omega_c t dt + \eta_I \quad (2.11)$$

$$Z_{Q,i}^{(i)} = \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(2i)}(t) \sin \omega_c t dt - \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(K)}(t) \sin \omega_c t dt + \eta_Q \quad (2.12)$$

여기서 η_I 와 η_Q 는 평균이 0이며 분산이 $N_0T/2$ 인 가우시안잡음이며 식 (2.13)과 (2.14)으로 표시된다.

$$\eta_I = \eta_{I,U} - \eta_{I,L} = \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t dt - \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(K)}(t) \cos \omega_c t dt \quad (2.13)$$

$$\eta_Q = \eta_{Q,U} - \eta_{Q,L} = \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(2i)}(t) \sin \omega_c t dt$$

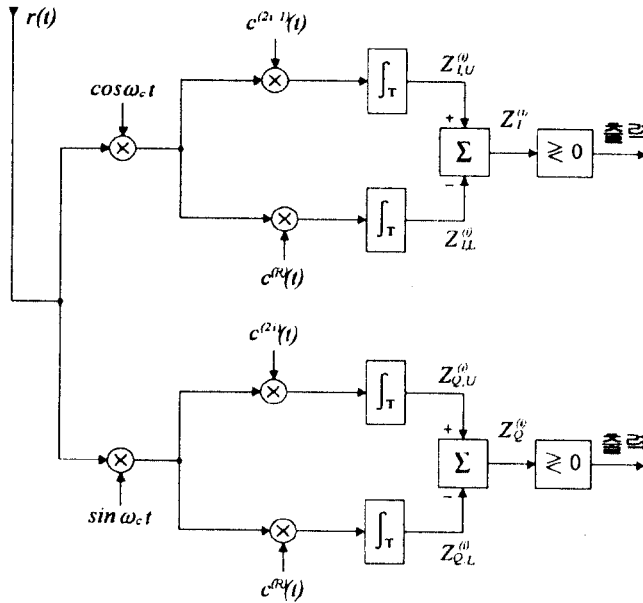


그림 2.2. i번째 상관수신기

$$- \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(K)}(t) \sin \omega_c t dt \quad (2.14)$$

마찬가지 방법으로 $\eta_{LU}, \eta_{LL}, \eta_{QU}, \eta_{QL}$ 의 평균치는 각각 0이며 분산은 $N_o T/4$ 이다. i 번째 사용자를 기준사용자로 하며 동기시스템을 가정하므로 $\tau=0$ 로 하여 식 (2.11)를 풀면 식 (2.15)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{i,m}^{(i)} = & \frac{AT}{2} \cdot d_{2m-1}^{(i)} + \sum_{k=1, k \neq i}^K \int_{mT}^{(m+1)T} s_i^{(k)}(t) \\ & \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t dt - \sum_{k=1}^K \int_{mT}^{(m+1)T} \\ & s_i^{(k)}(t) \cdot c^{(K)}(t) \cos \omega_c t dt + \eta_I \end{aligned} \quad (2.15)$$

식 (2.15)의 우변에서 1, 2항은 동상채널의 위 브랜치의 출력이며 3항은 아래 브랜치의 출력이다. 즉 수신된 신호는 위 브랜치에서는 i 사용자의 $2m-1$ 번째의 정보

성분과 i 사용자 이외의 다른 사용자에 의해서 발생되는 간섭성분의 합으로 표시되며 아래 브랜치에서는 간섭 제거부호의 작용에 의해서 수신된 신호 모두가 간섭신호 형태로 표시된다. 이것은 기준 상관수신기에서 사용한 간섭제거부호는 송신측에서 어느 사용자에게도 할당하지 않았기 때문이다. 아래 브랜치신호는 i 사용자의 성분과 $i \neq k$ 인 사용자들의 성분으로 분리될 수 있으므로 식 (2.15)은 다음 식으로 간략화 될 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_{i,m}^{(i)} = & \frac{AT}{2} \cdot d_{2m-1}^{(i)} - \frac{A}{2} \int_{mT}^{(m+1)T} d_{2m-1}^{(i)}(t) \\ & \cdot c^{(2i-1)}(t) \cdot c^{(K)}(t) dt + \eta_I \\ = & \frac{AT}{2} \cdot d_{2m-1}^{(i)} - \frac{A}{2} \mathcal{R}(i) + \eta_I \end{aligned} \quad (2.16)$$

여기서 $\mathcal{R}(i)$ 는 i 번째 사용자의 동상채널의 출력에 나타나는 간섭성분이다. 여기서 n 단 쉬프트레지스터

(shift register)로 발생된 부호는 두 레벨 자기상관함 수값 $R(\tau)$ 를 갖는다⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

$$R(\tau) = \frac{1}{NT_c} \int_t^{t+NT_c} c^{(i)}(t) c^{(i)}(t+\tau) dt \quad (2.17)$$

$$R(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau = 0 \\ -\frac{1}{N}, & \tau \neq 0 \end{cases}$$

여기서 τ 는 지연시간이다. 이러한 자기상관특성을 이용하여 식 (2.16)을 구하면 다음과 같다.

$$Z_{I,m}^{(i)} = \frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) \cdot d_{2m-1}^{(i)} + \eta_I \quad (2.18)$$

결과적으로 동상채널의 수신기출력 $Z_I^{(i)}$ 를 관찰 하므로써 i 번째 사용자의 $2m-1$ 번째 정보신호 $d_{2m-1}^{(i)}$ 를 검출할 수 있다. 즉

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_I^{(i)} = \frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_I \text{ 일 경우} \\ d_{2m-1}^{(i)} = +1 \\ Z_I^{(i)} = -\frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_I \text{ 일 경우} \\ d_{2m-1}^{(i)} = -1 \end{array} \right. \quad (2.19)$$

가 된다. 마찬가지로 방법을 이용하여 i 번째 사용자의 $2m$ 번째 정보신호 $d_{2m}^{(i)}$ 를 검출하기 위하여 i 번째 수신기의 역상채널의 출력, 식 (2.12)를 해석하면 다음과 같다.

$$Z_{Q,m}^{(i)} = \frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) \cdot d_{2m}^{(i)} + \eta_Q \quad (2.20)$$

이상채널의 수신기 출력 $Z_Q^{(i)}$ 를 관찰 하므로써 i 번째 사용자의 $2m$ 번째 정보신호 $d_{2m}^{(i)}$ 를 검출할 수 있다.

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_Q^{(i)} = \frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_Q \text{ 일 경우} \\ d_{2m}^{(i)} = +1 \\ Z_Q^{(i)} = -\frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_Q \text{ 일 경우} \\ d_{2m}^{(i)} = -1 \end{array} \right. \quad (2.21)$$

2.2 정보를 지닌 확산부호를 이용한 DS/CDMA

시스템의 간섭해석

본 절에서는 사용자가 갖는 정보신호에 따라 확산부호를 할당하는 방법을 이용하여 동기 QPSK 시스템에서 인접 사용자에 의한 다원집속간섭을 제거하기 위한 방법을 제시한다.

제한된 QPSK 시스템의 송신기에서 각 사용자의 입력정보가 갖는 심볼값에 따라서 서로 다른 확산부호를 할당하는 방법이 된다. 각 사용자의 정보가 가질 수 있는 값은 $\{+1, -1\}$ 이므로 해당하는 심볼값에 따라 기준 부호를 이용해 위상 오프셋된 부호를 중복되지 않게 할당한다. 즉, 송신되는 확산부호 자체가 정보를 담고있는 형태(information bearing type)가 된다. 그러므로 최장길이 $N=2^n-1$ 의 의사랜덤부호를 고려하면 제한된 시스템이 수용할 수 있는 최대 사용자수는 $N/2$ 이 된다.

k 번째 사용자의 연속적인 데이터, $d_{2k-1}^{(k)}(t)$ 와 $d_{2k}^{(k)}(t)$ 는 $+1$ 또는 -1 의 값을 가지며 두 채널로 분리된다. 이렇게 분리된 데이터가 갖는 값에 의해서 고유한 확산부호가 결정되며 다른 사용자의 신호도 같은 형태로 송신신호가 결정된다. 임의의 k 번째 사용자의 동상채널 및 이상채널 성분의 출력을 각각 $s_I^{(k)}(t)$, $s_Q^{(k)}(t)$ 라 하면 k 번째 사용자를 위한 송신기출력 $s^{(k)}$ 는 각 채널의 합으로 표시된다.

여기서 k 번째 사용자를 위한 각 채널의 송신기출력은 심볼값이 $+1$ 이면 식 (2.22)로 표현되며 -1 값을 가지면 식 (2.23)으로 표시된다.

$$\left\{ \begin{array}{l} s_I^{(k)}(t) = A \cdot c^{(2k-1)}(t) \cos \omega_c t \\ s_Q^{(k)}(t) = A \cdot c^{(2k-1)}(t) \sin \omega_c t \end{array} \right. \quad (2.22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} s_I^{(k)}(t) = A \cdot c^{(2k)}(t) \cos \omega_c t \\ s_Q^{(k)}(t) = A \cdot c^{(2k)}(t) \sin \omega_c t \end{array} \right. \quad (2.23)$$

즉 k 번째 사용자의 각 채널의 심볼값이 $+1$ 이면 $c^{(2k-1)}(t)$ 가 할당되며 -1 의 값을 가지면 $c^{(2k)}(t)$ 가 할당된다.

DS/CDMA 다원집속 시스템에서, K 명의 사용자의 신호들의 합으로써 송신신호가 결정되므로 식 (2.24)로 표시할 수 있다.

$$s(t) = \sum_{k=1}^K (s_I^{(k)}(t) + s_Q^{(k)}(t)),$$

$$1 < K < \frac{N}{2} \quad (2.24)$$

이와같은 방법으로 구성된 QPSK 송신기는 그림 2.3 과 같다. 여기서 $d_{2k-1}^{(k)}(t)$ 와 $d_{2k}^{(k)}(t)$ 는 k 번째 사용자의 연속적인 입력데이터를 의미한다.

송신신호는 K 명의 사용자 신호의 합으로 표현되며 동일한 전송로를 통하여 전송된다. 이러한 신호들이 평균이 0이고 양측 전력밀도가 $N_0/2$ 인 백색 가우시안(AWGN) 채널을 통과한 경우 수신신호 $r(t)$ 는 식 (2.25)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K s^{(k)}(t-\tau) + n(t) \quad (2.25)$$

동기 DS/CDMA 시스템에서 K 명의 사용자 신호중에서 i 번째 사용자의 정보를 검출하기 위해 구성된 수신기는 그림 2.4와 같다.

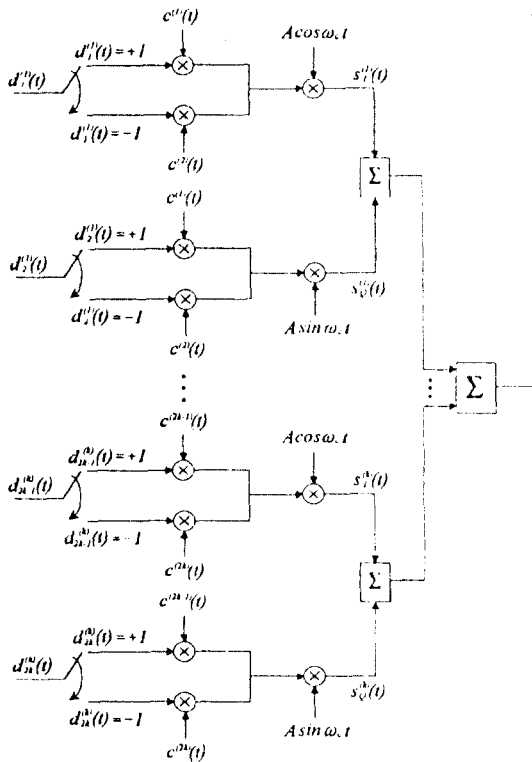


그림 2.3. QPSK 송신기모델

수신된 신호는 동상채널과 이상채널로 분리된다. 또한 각 채널에 해당하는 정보를 얻기 위하여 각 채널은 두개의 브랜치, 위 브랜치와 아래 브랜치로 구성된다. 각 채널의 두개의 브랜치중에서 위 브랜치는 +1의 값을 갖는 심볼에 할당된 확산부호를 역 확산부호로 사용하며 아래 브랜치는 -1의 값을 갖는 심볼에 할당된 확산부호를 역 확산부호로 사용한다. 각 채널의 상관기 출력을 각각 $Z_I^{(i)}$, $Z_Q^{(i)}$ 이라하면 각 채널은 두개의 브랜치의 합으로 표시 될 수 있으며 다음과 같다.

$$Z_I^{(i)} = Z_{I,U}^{(i)} - Z_{I,L}^{(i)} \quad (2.26)$$

$$Z_Q^{(i)} = Z_{Q,U}^{(i)} - Z_{Q,L}^{(i)} \quad (2.27)$$

i 번째 사용자의 $2m-1$ 번째 정보는 임의의 시점 m 에서 $Z_I^{(i)}$ 의 출력을 관찰 하므로써 얻어지며, $2m$ 번째 정보는 $Z_Q^{(i)}$ 의 출력을 관찰 하므로써 얻을 수 있다. 그러므로 i 번째 사용자의 $[mT, (m+1)T]$ 구간에서 정보를 검출하기위한 $Z_I^{(i)}$ 와 $Z_Q^{(i)}$ 는 다음과 같다.

$$Z_{I,m}^{(i)} = \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t dt - \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(2i)}(t) \cos \omega_c t dt + \eta_I \quad (2.28)$$

$$Z_{Q,m}^{(i)} = \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \sin \omega_c t dt - \int_{mT}^{(m+1)T} r(t) \cdot c^{(2i)}(t) \sin \omega_c t dt + \eta_Q \quad (2.29)$$

여기서 η_I 와 η_Q 는 평균이 0이며 분산이 $N_0T/2$ 인 가우시안잡음이며 식 (2.30)과 (2.31)로 표시된다.

$$\eta_I = \eta_{I,U} - \eta_{I,L} = \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t dt - \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(2i)}(t) \cos \omega_c t dt \quad (2.30)$$

$$\eta_Q = \eta_{Q,U} - \eta_{Q,L} = \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \sin \omega_c t dt$$

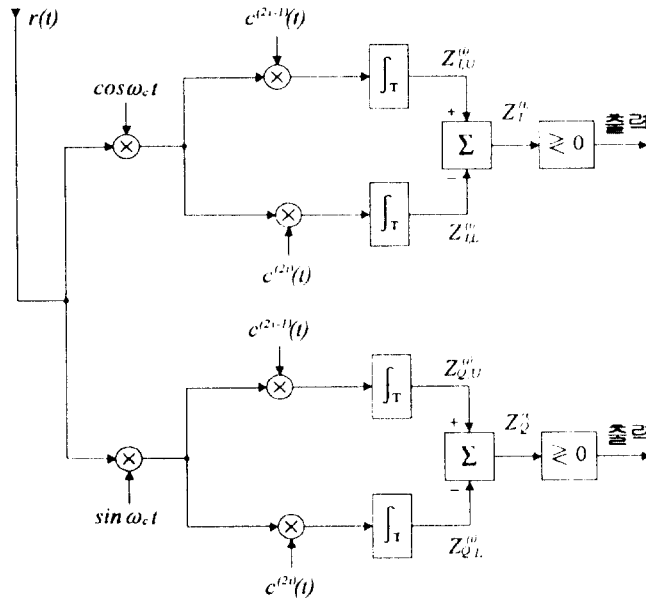


그림 2.4. i번째 상관수신기

$$- \int_{mT}^{(m+1)T} n(t) \cdot c^{(2i)}(t) \sin \omega_c t \, dt \quad (2.31)$$

바탕가치로 $\eta_{I,U}, \eta_{I,L}, \eta_{Q,U}, \eta_{Q,L}$ 의 평균치는 각각 0이며 분산은 $N_n T/4$ 이다.

i번째 사용자를 기준 사용자로 하며 동기 시스템을 가정하므로 $\tau=0$ 로 하고 시스템을 분석한다. 만약 임의의 m번째 구간에서 수신된 i번째 사용자의 정보심볼이 “+1”을 갖는다면 동상채널의 출력은 식 (2.32)로 표현된다.

$$Z_{I,m}^{(i)} = \frac{AT}{2} + \sum_{k=1, k \neq i}^K \int_{mT}^{(m+1)T} s_j^{(k)}(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t \, dt - \sum_{k=1}^K \int_{mT}^{(m+1)T} s_j^{(k)}(t) \cdot c^{(2i)}(t) \cos \omega_c t \, dt + \eta_I \quad (2.32)$$

식 (2.32)의 우변에서 1, 2 항은 동상채널의 위 브랜

치의 출력이며 3항은 동상채널의 아래 브랜치 출력이다. 여기서 1항은 i사용자의 m번째 정보심볼이 역확산된 출력이며 2항은 $i \neq k$ 인 사용자에 의해서 나타나는 간섭성분들이다. 또한 3항은 +1로 할당된 i사용자 뿐 만 아니라 모든 다른 사용자의 신호들이 간섭성분으로 나타나는 데 이것은 아래 브랜치의 역확산 부호는 i사용자의 -1 신호에 할당된 고유한 확산부호이기 때문이다.

또한 임의의 m번째 구간에서 수신된 i번째 사용자의 정보심볼이 “-1”을 갖는다면 동상채널의 출력은 식 (2.33)로 표현된다. 여기서 우변의 1항은 위 브랜치의 출력이며 2항과 3항은 아래 브랜치의 출력이다.

$$Z_{I,m}^{(i)} = \sum_{k=1}^K \int_{mT}^{(m+1)T} s_j^{(k)}(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) \cos \omega_c t \, dt - \frac{AT}{2} - \sum_{k=1, k \neq i}^K \int_{mT}^{(m+1)T} s_j^{(k)}(t) \cdot c^{(2i)}(t) \cos \omega_c t \, dt + \eta_I \quad (2.33)$$

식 (2.32)에서 우변의 3항은 i 사용자의 성분과 $i \neq k$ 인 사용자의 성분으로 구분될 수 있으므로 식 (2.32)는 (2.34)로 된다. 마찬가지로 방법으로 식 (2.33)은 (2.35)로 표시 될 수 있다.

$$Z_{l,m}^{(i)} = \frac{AT}{2} - \frac{A}{2} \int_{mT}^{(m+1)T} c^{(2i-1)}(t) \cdot c^{(2i)}(t) dt + \eta_l$$

$$= \frac{AT}{2} - \frac{A}{2} \mathcal{K}(i-1, i, 1) + \eta_l \quad (2.34)$$

$$Z_{l,m}^{(i)} = \frac{A}{2} \int_{mT}^{(m+1)T} c^{(2i)}(t) \cdot c^{(2i-1)}(t) dt - \frac{AT}{2} + \eta_l$$

$$= \frac{A}{2} \mathcal{K}(i-1, i, 1) - \frac{AT}{2} + \eta_l \quad (2.35)$$

여기서 $\mathcal{K}(i-1, i, 1)$ 는 같은 i 사용자의 신호 일지라도 +1에 해당하는 신호가 -1에 해당하는 아래 브랜치에서 간섭성분으로 나타나는 것을 말하며 $\mathcal{K}(i-1, i, 1)$ 는 역으로 설명할 수 있다. 의사랜덤부호 자기상관특성을 이용하여 동상채널의 출력을 구하면 식 (2.34)와 (2.35)는 각각 다음과 같다.

$$Z_{l,m}^{(i)} = \frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_l \quad (2.36)$$

$$Z_{l,m}^{(i)} = -\frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_l \quad (2.37)$$

결과적으로 동상채널의 수신기 출력 $Z_l^{(i)}$ 를 관찰 하므로써 i 번째 사용자의 $2m-1$ 번째 정보신호 $d_{2m-1}^{(i)}$ 를 검출 할 수 있다.

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_l^{(i)} = \frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_l \text{ 일 경우} \\ d_{2m-1}^{(i)} = +1 \\ Z_l^{(i)} = -\frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_l \text{ 일 경우} \\ d_{2m-1}^{(i)} = -1 \end{array} \right. \quad (2.38)$$

동일한 방법으로 i 번째 사용자의 $2m$ 번째 정보신호 $d_{2m}^{(i)}$ 를 검출 하기 위하여 역상채널의 출력을 해석하면

다음과 같다. 수신된 i 번째 사용자의 정보가 "+1"를 갖는다면 역상채널의 출력은 식 (2.39)로 표시되며 -1 일 때는 식 (2.40)로 표시된다.

$$Z_{Q,m}^{(i)} = \frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_Q \quad (2.39)$$

$$Z_{Q,m}^{(i)} = -\frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_Q \quad (2.40)$$

즉

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_Q^{(i)} = \frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_Q \text{ 일 경우} \\ d_{2m}^{(i)} = +1 \\ Z_Q^{(i)} = -\frac{AT}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_Q \text{ 일 경우} \\ d_{2m}^{(i)} = -1 \end{array} \right. \quad (2.41)$$

식 (2.38)과 (2.41)에 의해서 원하는 사용자의 정보 신호를 정확히 검출 할 수 있음을 알 수 있다.

제3장 성능 분석

DS/CDMA시스템에서 특정 사용자의 신호를 복조할 때 다른 사용자의 신호는 단지 다원접속간섭으로 작용하게 된다. 여러 사용자가 동일한 대역폭을 공유하면서 동시에 정보를 전송하여 수신단에서 원하는 사용자의 정보를 얻을때 발생하는 다원접속간섭을 제거하기 위하여 본 논문에서는 두가지 방법을 제시하였다. 결과식 (2.19), (2.21)과 (2.38), (2.41)로 부터 제안된 시스템의 성능은 동일함을 알 수 있으며 다음은 제안된 시스템의 오류확률을 구한다.

일반적인 QPSK시스템에서 정확히 수신될 확률은 다음과 같다.

$$P_c = (1-P_{E1})(1-P_{E2}) \quad (3.1)$$

여기서 P_{E1} 와 P_{E2} 는 각 채널의 오류확률이다. 사용자 신호가 평균이 0 이고 양측 전력밀도가 $N_0/2$ 인 백색 가우시안채널을 통과한 경우 i 번째 사용자의 정보신호가 +1로 주어졌다면, 동상채널 상관기출력 $Z_l^{(i)}$ 는 식

(2.19)에서

$$Z_i^{(0)} = \frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_i$$

이며, 여기서

$$E[\eta_i] = 0$$

$$\text{Var}[\eta_i] = \frac{N_o T}{2}$$

이다.

임의의 i 번째 사용자의 동상채널을 고려할 때 오류확률(error probability)은 i 번째 사용자의 $2m-1$ 번째 정보신호 $d_{2m-1}^{(i)}$ 가 +1로 주어졌을 때의 조건부 확률로 구할 수 있다. 즉,

$$P_{E_i} = P[Z_i^{(i)} < 0 \mid d_{2m-1}^{(i)} = +1] \quad (3.2)$$

$$P_{E_i} = P\left[\frac{AT}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta_i < 0\right] \quad (3.3)$$

$$= \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_s}{4 N_o}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right)\right) \quad (3.4)$$

여기서 $\text{erfc}(\cdot)$ 는 complementary error function 이며 $E_s = A^2 T$ 는 평균 심볼에너지이다.

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-\lambda^2} d\lambda \quad (3.5)$$

또한

$$P_{E_c} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_s}{4 N_o}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right)\right) \quad (3.6)$$

이다. 결과적으로 제안된 QPSK 시스템의 오류확률은

$$P_E = 1 - P_c \approx 2P_{E_1} \quad (3.7)$$

이므로 제안된 시스템의 오류확률은 다음과 같다.

$$P_E \approx \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_s}{4 N_o}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right)\right) \quad (3.8)$$

식 (3.8)에서 $N = 1$ 인 경우에, 제안된 시스템은 동기 QPSK 시스템과 동일한 성능을 보인다. 그림 3.1은 제안된 시스템과 종래의 동기 QPSK 시스템의 심볼 오류확률을 보인 것이며 $N = 127$ 이다.

그림 3.1에서, 제안된 방식은 기존의 동기 QPSK 방식에 비해 약 3dB 정도 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 이러한 3dB의 성능차이는 제안된 시스템이 두개의 수신기로 구성되어 있기 때문이다. 즉 두 브랜치의 잡음이 더해져서 잡음의 분산이 기존의 방식보다 2배가 되어 3dB의 성능차이를 보인다. 그러나 동기 QPSK 오류확률은 사용자가 한명 일때의 가장 이상적인 경우의 오류확률인 것에 비해, N 이 주어진상태에서, 제안된 방식은

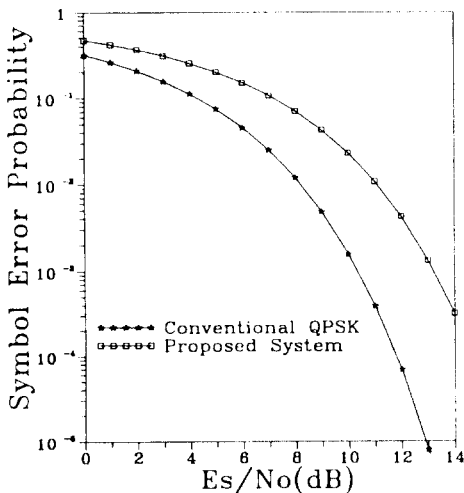


그림 3.1. 심볼오류확률

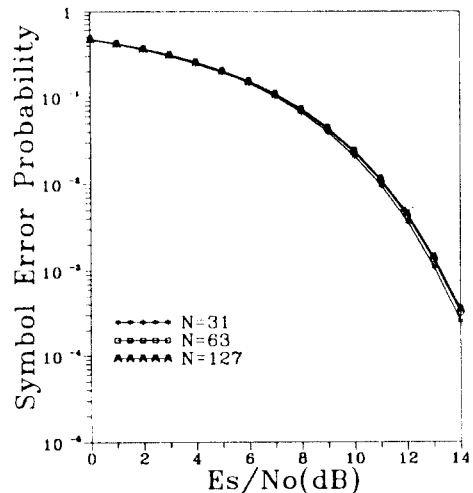


그림 3.2. N에 따른 심볼오류확률

최대 $N/2$ 의 사용자를 수용하더라도 동일한 오류성능을 보인다는 것을 알 수 있으며 이것은 시스템이 간섭을 제거하는 특성을 가지기 때문이라고 설명할 수 있다.

그림 3.2는 N 에 따른 제안된 시스템의 오류확률이다. N 이 증가함에 따라 성능이 거의 감소하지 않음을 볼 수 있으며 N 이 증가한다는 것은 수용할 수 있는 사용자가 많아 진다고 해석할 수 있다. 그러나 어느 일정 N 이후에는 거의 일정한 오류확률을 유지하고 있음을 알 수 있으며 N 이 클 때에는 식 (3.9)로 근사화 시킬 수 있다.

$$P_E \approx \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_s}{4 N_o}}\right) \quad (3.9)$$

제4장 결 론

천천히 변하는 채널특성을 갖는 실내통신 및 휴대통신에서는 동기 DS/CDMA가 가능하다. DS/CDMA 시스템에서 수신하고자 하는 신호 이외의 신호는 간섭성분으로 작용한다. 이러한 간섭은 시스템의 용량을 제한하는 중요한 요소이며 본 논문에서는 QPSK 방식을 이용한 동기 DS/CDMA 시스템에서 발생하는 다원접속간섭을 제거하기 위한 방법들을 제시하였다.

의사 랜덤계열을 확산부호로 사용하였으며 하나의 기준부호를 이용하여 위상 오프셋된 부호를 중복되지 않게 할당 하였다. DS/CDMA 시스템에서 발생하는 간섭을 제거하기 위해서 기준 상관수신기를 이용했으며 사용자가 갖는 정보신호에 따라 오프셋된 확산부호를 할당한 시스템에서도 두개의 상관수신기를 이용하여 사용자간에서 발생하는 간섭을 제거하였다.

이러한 두가지 방법을 이용한 시스템은 다원접속간섭성분을 완전히 제거 시키는 것을 알 수 있으며 정확히 정보를 획득함을 알 수 있다. 또한 AWGN 환경하에서 임의의 한 사용자에게 대한 평균 심볼오류확률을 구했다.

제안된 방식은 완전한 동기가 보장되지 않는 상황하에서는 성능감소가 필연적이며 이를 보상하기위한 연구가

진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. C. E. Cook and H. S. Marsh, "An Introduction to Spread Spectrum," *IEEE Communication Magazine*, pp.8-16, March, 1983.
2. W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 2, pp.291-302, May, 1991.
3. M. B. Pursely, *Spread Spectrum Multiple Access Communication Systems*, G. Longo, Springer-Verlag, pp.133-199, 1981.
4. Qualcomm, *Proposed EIA/TIA Interim Standard Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard*, 21, April, 1992.
5. K. W. Yip and T. S. Ng, "Code Phase Assignment - A technique for High Capacity Indoor Mobile DS-CDMA Communication", *IEEE VTC 94*, Vol. 3, pp.1586-1590, 1994.
6. R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1984.
7. S. W. Golomb, *Shift Register Sequences*, Holden-Day, Inc., 1967.
8. J. G. Proakis, *Digital Communications*, 2nd Ed., New York : McGraw- Hill, 1983.
9. 김 남선, 한 영열, "기준 상관수신기를 이용한 동기 QPSK DS/CDMA 시스템의 다원접속간섭 제거", 한국 통신학회 하계 종합학술발표회 논문집, pp.14-18, 7월, 1994.
10. T. S. Rappaport, "Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Buildings", *IEEE Antennas Propagat.*, Vol. 37, pp.1058-1069, Aug, 1989.

金 南 善(Namsun Kim)

정희원

韓 榮 烈(Youngyearl Han)

정희원

韓國通信學會 論文紙 第20卷 第1號, pp.54 參照

현재 : 한양대학교 전자통신과 교수

韓國通信學會 論文紙 第20卷 第1號, pp.54 參照