

TDMA와 Binary CDMA의 혼합 다중 접속 시스템

정회원 안호성*, 나성웅**

Hybrid TDMA and Binary CDMA System

Ho Seong Ahn*, Sung-Woong Ra** *Regular Members*

요약

다수 개의 입력 신호에 직교 코드들을 곱하고 그 신호들의 합을 절삭하는 방법으로 신호 크기를 제한하여 일정 진폭을 유지하는 Binary CDMA를 TDMA 프레임 구조 위에 전송하는 혼합 다중 접속 방식(TD-BCDMA)을 제안하였다. 매 시간 슬롯 내에 다수 개의 채널이 코드 분할되어 Binary CDMA로 변조되어 TDMA와 동일한 신호 파형을 가지고 전송된다. TD-BCDMA는 TDMA가 가지는 장점을 그대로 가지며, 사용자 각각에게 할당하는 시간 슬롯과 코드의 개수를 조정하여 요구에 따라서 유연하게 데이터 전송률을 조절할 수 있다. 이 특성을 이용하여 Ad Hoc 통신망에 적용되는 예를 시범 보였다. 또한 이 혼합 다중 접속 방식에 적합한 동기 구조를 얻기 위하여 적용 가능한 두 가지 동기 구조 즉, TDMA에서의와 같은 프리앰블 구조와 CDMA에서의와 같은 동기 채널 구조에 대하여 Receiver Operating Characteristics 성능과 채널 환경에 따른 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 비교 평가하여 프리앰블 구조가 혼합 다중 접속 방식에 더 실용적이고 적합한 동기 구조임을 입증하였다.

Key Words: Binary CDMA; PW/CDMA; TD-BCDMA; Synchronization; Ad Hoc

ABSTRACT

A novel hybrid multiple access system, TD-BCDMA, where Binary CDMA that maintains a constant amplitude by clipping the summation of input signals multiplied by the orthogonal codes is transmitted over a TDMA frame structure, was proposed. In every time slot of TDMA, binary CDMA modulated multiple channel signals are transmitted with the same waveform of TDMA. TD-BCDMA has all the advantages of TDMA. Flexible adjustment of the data transmission rate on demand is possible by adjusting the number of codes and time slots assigned to each user. This property was used to show an example of Ad Hoc network applications. To obtain a proper synchronization scheme for TD-BCDMA, the Receiver Operating Characteristics performance and the false alarm probability and false dismissal probability under various channel environment of two different schemes, a preamble scheme as in TDMA and a synchronization channel scheme as in CDMA were compared. It was proved that the preamble scheme is more practical and suitable than the synchronization channel scheme for the hybrid multiple access system.

1. 서론

셀룰러 이동 무선시스템을 설계하거나 표준화하고자 할 때, 다수의 사용자를 수용한다는 관점에서 어떤 다중접속방식을 채택할 것인가는 주 관심점이 되고 있으며^[1], 기존의 존재하는 이동 무선 시스템의 재사용 가능성 또한 적지 않은 고려 요소라고

할 수 있다. 또한 무선 멀티미디어 통신 서비스에 대한 요구가 늘어남에 따라서 고속 전송 및 각기 다른 통신 품질을 제공하는 다양한 속도의 전송을 지원하는 시스템에 대한 필요가 증대되어, 이런 요구를 만족시키기 위한 시스템이 제안되고 있다. 현재의 CDMA는 각 채널에 고정된 spreading factor를 개별적으로 사용하여 모든 사용자에게 동질의

* (주)카서(hsahn@casuh.com), ** 충남대학교(swra@cnu.ac.kr)
논문번호 : 030384-0903, 접수일자 : 2003년 9월 5일

적은 데이터 전송량만을 제공하고 있다. 이에 더 나은 서비스를 제공하기 위해, 사용자의 다양한 요구, 즉 서로 차별화되고 시간에 따라 변화하는 데이터 전송률 또는 서비스 수준(QoS) 등을 수용하기 위한 방안들이 제안되고 있는데, 우선 요구되는 데이터 전송률에 따라 Spreading Gain을 가변적으로 적용하는 적응 접근 제어를 적용한 Variable Spreading Gain CDMA^[2]가 가변 데이터 전송률 서비스를 제공하기 위해 제안되었다. 입력 트래픽에 따라 전송 속도를 가변적으로 조절하여 확산 이득을 조절할 수 있고 요구되는 통신 품질을 만족시키기 위해 전송 전력을 조절할 수 있다. 그러나 데이터 전송률이 높을 때에는 spreading gain이 낮아 질 수밖에 없어 좋은 cross correlation 특성을 보장할 수 없다. 따라서 VSG-CDMA 시스템은 고속의 데이터를 전송하는 경우 확산 이득이 작아져서 간섭에 대한 내성이 줄어든다. 이러한 Single code 구조의 문제를 극복하기 위하여 multi-code CDMA가 제안되었다^[3].

멀티 코드 CDMA에서의 송신 신호는 직교 코드가 곱해진 각각의 신호의 선형 합이 된다. 멀티 코드 CDMA 시스템은 소스의 데이터 전송률에 따라 사용하는 코드 채널의 수를 가변한다. 이렇게 하여 요구되는 서비스 수준(QoS)에 따라 신호출력을 제어하고, 일정한 처리 이득을 가지고 있어서 VSG-CDMA의 경우에 나타나는 높은 데이터 전송률에서 처리이득이 낮아지는 문제를 해결한다. 반면에 멀티 코드 CDMA 시스템의 송신 신호는 다수개의 멀티 코드 신호를 선형 합한 것이기 때문에 진폭의 변동이 매우 크게 나타난다. 따라서 선형성이 매우 높은 송신용 전력증폭기를 사용해야만 하는 단점이 있다. 이동 통신 시스템에서 UP-LINK에 증폭기의 전력 효율을 높게 유지하는 것은 매우 중요한데, 만약 멀티 코드 신호를 포화 전력 증폭기로 증폭한다면 신호의 활성 영역이 매우 크기 때문에 포락선의 비선형 왜곡이 매우 크게 나타날 것이다. 따라서 bit error rate (BER) 성능이 심각하게 감소하게 된다.

이러한 멀티 코드 CDMA의 진폭 변동 문제를 극복하기 위하여 Binary CDMA이 제안 되었다. Binary CDMA는 멀티 레벨의 출력 신호를 이진형태로 바꾸는 방법에 따라 펄스폭 (Pulse Width) CDMA (PW/CDMA)^[4-9], 다 위상 (Multi Phase) CDMA (MP/ CDMA)^[10-13], 그리고 코드 선택 (Code Select) CDMA (CS/ CDMA)^[14] 등으로 구

분되어 진다. 이 방법들은 일정 진폭의 출력 신호를 가지게 되므로 선형 전력 증폭기를 사용하지 않아도 될 뿐만 아니라, 변조 및 복조 회로가 매우 간단해 지는 장점을 가지고 있다. 또한 신호 레벨을 제한하기 위해 사용되어지는 절삭에 의한 정보의 손실이 있음에도 불구하고, 유용한 채널 수내에서 DS/CDMA와 대등한 BER 특성을 보여 준다.

이 논문에선 이진 레벨로 절삭된 PW/CDMA (협의의 Binary CDMA)에 초점을 맞추었다. PW/CDMA는 직교 코드가 곱하여진 다수 입력 신호들의 선형 합을 펄스의 폭으로 변조하므로써 일정 진폭 신호를 얻게 되는 멀티 코드 전송 방식이다. 전송 신호의 크기를 펄스폭으로 바꾸어 출력 신호의 레벨을 이진화 시켜 레벨이 일정한 전송 신호를 만든다. 직교 코드 주기 동안의 면적 적분을 통해 송신 신호를 복원하므로 펄스의 크기를 펄스폭으로 전환해도 복조 과정에서 전송하는 정보의 내용에 따른 상대적인 면적 비의 변화는 발생하지 않으므로 동일한 복조 특성을 나타내게 된다. 펄스 크기를 펄스폭으로 바꾸는 과정에서 세밀한 펄스폭의 출현으로 송신 시 전송 대역폭이 넓어지고 수신 시 필요한 sampling rate가 높아지므로, 시스템 구현 과정에서 출력 단의 신호를 일정 레벨 이상 잘라주는 절삭(clipping) 방식으로 레벨 수를 제한하고, 변조 신호의 매 chip 마다 펄스폭의 극성을 교대로 바꾸어 코드 chip 간의 경계에서의 펄스 변화를 배제하여 펄스의 최소 폭을 넓혀준다^[4]. 여기서 출력 신호를 1과 -1만 남기고 절삭하면 대역폭 증가는 가져오지 않는다. 하지만 절삭의 효과로 인하여 수신 단에서 BER 성능은 감소한다.

이렇게 만들어진 Binary CDMA의 파형은 TDMA의 파형과 동일한 형태를 가지기 때문에 Binary CDMA 신호를 전송하기위하여 TDMA 시스템 구조를 사용할 수 있다. 이리하여 TDMA와 CDMA의 장점만을 추출하여 많은 융통성을 발휘하여 새롭고 다양한 특성을 가지는 응용 분야에서 사용되어 질 수 있는 새로운 통신 시스템 구조를 만들 수 있다.

이 논문에서 TDMA와 Binary CDMA를 혼합한 다중접속 방식인 TD-BCDMA를 제안한다. 이 방식을 차세대 이동 통신 시스템 구축에 있어 기존의 시설을 이용할 수 있는 장점을 보유한다는 점에서 좋은 후보가 될 수 있을 것으로 판단하다.

Binary CDMA는 TDMA의 신호와 같은 형태를 가지고 있으므로 혼합 시스템도 TDMA와 같은 신

호 형태를 가지게 된다. TDMA의 경우에서와 같이 사용자가 시간 슬롯을 나누어 사용할 수도 있고 CDMA의 경우에서와 같이 코드를 나누어 사용할 수도 있다. 이와 같이 시간 슬롯과 코드의 동적인 할당을 통하여 Ad Hoc 통신망의 구성이 쉽게 적용 가능하다. 이 논문에서는 TD-BCDMA를 이용하여 단말기간 음성 데이터의 중계 동작이 쉽게 구현 가능함을 보였다. 또한 Binary CDMA의 파형이 TDMA와 동일하므로 CDMA이면서 TDMA와 같이 프리앰블에 의한 동기 획득을 할 수 있다. 이 논문에서는 이 혼합 다중 접속 방식에 적합한 동기 구조를 얻기 위하여 TDMA의 프리앰블을 이용한 동기 구조와 CDMA의 동기 채널을 이용한 동기 구조를 이상적인 조건에서 false alarm 확률 대 detection 확률 관점에서 Receiver Operating Characteristics 성능과 채널 환경에 따른 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 구하여 상대 성능을 비교 평가하여 보았다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 PW/CDMA를 중심으로 한 협의의 Binary CDMA의 변복조 방법 및 신호 파형과 전송 오류 특성을 기술하고, 3장에서는 이 Binary CDMA와 TDMA를 혼합하여 얻어지는 새로운 방식인 TD-BCDMA 시스템을 소개하고 Ad Hoc 통신망에서의 적용 가능성을 기술하였으며, 4장에서는 프리앰블 또는 동기 채널을 사용하는 두 가지 동기 구조의 성능을 비교하였으며, 5장에서 결론을 맺는다.

II. Binary CDMA와 전송 오류 성능

그림 1에 PW/CDMA의 베이스 밴드 모델을 보였다. 비트열 b_1, \dots, b_M , $b_m \in \{+1, -1\}$ 는 직병렬 변환된 정보 비트들이다. 각 채널의 정보 비트들은 길이가 N 칩인 직교 코드에 의해서 확산된다. 즉, 각 채널의 정보비트는 비트구간 T_b 동안에 N

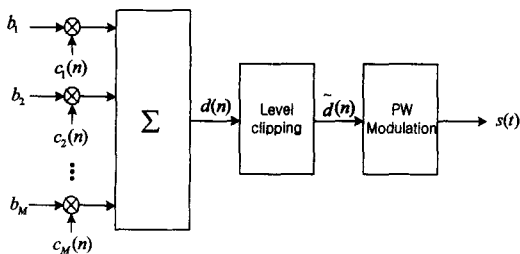


그림 1. 이진 레벨 절삭된 PW/CDMA의 송신부

칩 길이의 확산코드와 곱해진다. 따라서 칩 구간을 T_c 라고 하면, $T_b = NT_c$ 인 관계가 성립한다.

이 멀티 레벨 신호 $d(n)$ 에 대해 칩 단위로 펄스폭 변조가 이루어진다. 확산된 신호가 더해져서 만들어지는 다중레벨 신호 $d(n)$ 은 한 비트 구간 내에서 다음과 같이 표현된다.

$$d(n) = \sum_{m=1}^M b_m c_m(n) \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

여기서 $b_m \in \{1, -1\}$ 은 m 번째 채널의 정보비트를 나타내고, $c_m(n)$ 은 m 번째 채널 확산코드의 n 번째 칩의 값을 나타낸다. 채널의 개수 M 을 홀수로 가정하면, 출력 신호 $d(n)$ 은 $(M+1)$ 개 레벨을 가지게 되며, 0을 포함하지 않으며 다음과 같이 $\{-M, -M+2, \dots, -1, +1, \dots, M-2, M\}$ 의 값을 갖는다.

펄스폭 변조는 $d(n)$ 의 레벨 값에 비례하여 칩 구간마다 이루어진다. $s_n(t)$ 을 n 번째 칩의 PW 변조된 신호라고 하면, $s_n(t)$ 은 +1 값에서 시작하여 $d(n)$ 에 의해 결정된 시간동안 머물다가 -1로 변한다. 그림 2에 n 번째 칩의 펄스폭 변조된 전송신호 $s_n(t)$ 의 예를 보여주고 있다.

각각 +1과 -1의 시구간을 나타내는 $\delta_+(n)$ 와 $\delta_-(n)$ 을 각각 $s_n(t)$ 의 양의 값과 음의 값의 시간 간격이라고 하자. 그러면 $\delta_+(n)$ 와 $\delta_-(n)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_+(n) = \frac{d(n) + M}{2} \Delta \quad (2)$$

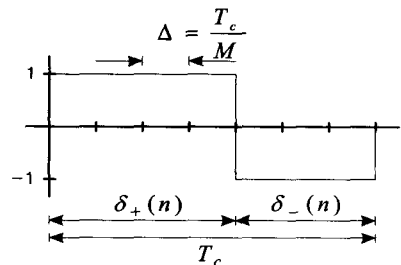


그림 2. PW 변조된 신호 $s_n(t)$ 의 예

그리고

$$\delta_{-}(n) = \frac{M-d(n)}{2} \Delta \quad (3)$$

위 식에서 Δ 은 단위 펄스폭으로서 칩 주기 T_c 를 채널 개수 M 으로 나눈 값 즉, $\Delta = T_c / M$ 이라고 정의한다.

그러면 신호 $s_n(t)$ 는 다음과 같다.

$$s_n(t) = p_{\delta_{+}(n)}(t) - p_{\delta_{-}(n)}(t - \delta_{+}(n)) \quad (4)$$

여기서 $p_{\tau}(t)$ 는 τ 길이를 갖는 구형파이다. 즉

$$p_{\tau}(t) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

이 되며 다음과 같은 특성을 갖는다.

$$\int_0^{T_c} s_n(t) dt = \delta_{+}(n) - \delta_{-}(n) = d(n)\Delta \quad (6)$$

따라서 PW 변조 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 된다.

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n(t - nT_c) \quad 0 \leq t \leq T_c \quad (7)$$

그림 3는 레벨 5에서 절삭된 즉 채널의 개수가 5개 이상 존재하는 경우 5보다 같거나 큰 출력신호를 레벨 5로, 또한 -5보다 같거나 작은 출력 신호를 레벨 -5로 절삭한 멀티 코드 CDMA (a)와 펄스폭 변조된 PW/CDMA (b)와 이진 레벨 절삭된 PW/CDMA(c)를 보여주고 있다.

각 칩 기간 동안의 신호 펄스폭은 $d(n)$ 값에 비례한다. 만약 채널 수가 많으면 최소 펄스폭이 매우 적어지고, 시스템의 대역폭이 매우 넓어지게 된다. 레벨 절삭(level clipping) 블록을 삽입함으로써, $d(n)$ 의 진폭 레벨을 감소시켜 대역폭을 줄이게 된다. 이 논문에서 적용한 이진 레벨 절삭(Binary level clipping)은 $d(n)$ 의 신호 레벨을 +1과 -1에서 절삭하여 레벨 절삭 블록의 출력에 +1과 -1만을 갖는 즉, $\tilde{d}(n) = \pm 1$ 이 되는 것을 의미한다.

따라서 이진 절삭된 PW/CDMA 신호의 n번째

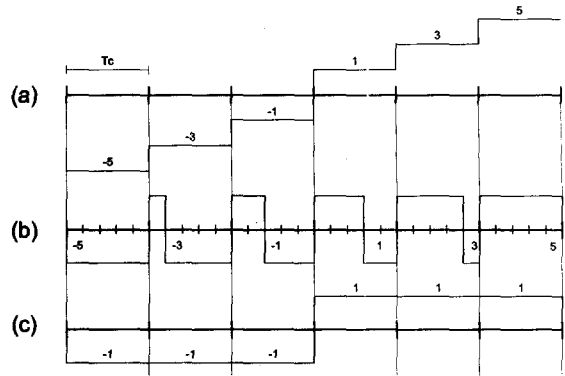


그림 3. (a) 멀티코드 CDMA, (b) PW/CDMA와 (c) 이진 레벨 절삭된 PW/CDMA의 신호 파형

칩은 펄스폭이 T_c 인 antipodal 구형파가 된다. 즉,

$$\bar{s}_n(t) = \begin{cases} p_{T_c} & \text{if } \tilde{d}(n) = 1 \\ -p_{T_c} & \text{if } \tilde{d}(n) = -1 \end{cases} \quad (8)$$

따라서 PW 변조된 신호 $s(t)$ 는 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \bar{s}_n(t - nT_c) \quad (9)$$

그림 4은 이 시스템의 베이스밴드 수신기 모델을 보여주고 있다. 기존의 멀티 코드 CDMA 시스템에서와 마찬가지로 수신된 신호는 직교 코드에 의해서 역확산된 후 합해져서 판단값을 만들게 된다.

수신신호 $r(t)$ 는 $s(t)$ 와 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 가우시안 백색잡음 $n(t)$ 의 합이 되며, 복원하려는 채널의 해당 확산신호와 상관기 취해져서 결정 변수가 된다. i 번째 상관기의 출력 즉, 판단값 z_i 는 다음과 같다.

$$z_i = \int_0^T r(t)c_i(t) dt = s_o + n_o \quad (10)$$

여기서, s_o 와 n_o 는 각각 신호항과 잡음항을 나타낸다. 레벨 절삭에 의해 비선형 왜곡이 발생하게 되는데 이 왜곡에 의한 잡음의 양은 확산 코드와 정보 비트들에 의해 결정된다.

참고 문헌 [5]에 비선형 절삭 잡음의 효과를 분석하여 판단값 z_i 의 평균 신호항을 다음과 같이 유도하였다.

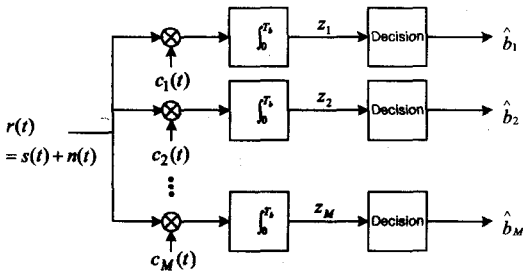


그림 4. 수신기 모델

$$\bar{s}_0 = E[s_0 | b_1 = 1] = E \left[\sum_{n=0}^{N-1} c_1(n) \tilde{d}(n) T_c | b_1 = 1 \right]$$

$$= \frac{M-1}{2^{M-1}} T_b \quad (11)$$

여기서 T_b 는 데이터 비트의 주기를 M 은 채널의 개수 (홀수)이며, $n C_r = n! / r!(n-r)!$ 이다. 시스템의 비트 오류 확률은 다음과 같다.

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{\bar{s}_0^2}{\sigma_{n_0}^2}} \right) = Q \left(\sqrt{\left(\frac{M-1}{2^{M-1}} \right)^2 M \frac{2E_b}{N_0}} \right) \quad (12)$$

채널 개수 M 이 계속 증가하면, 절삭 잡음이 증가하게 되고 비트 오류 성능이 저하되어 E_b/N_0 이 높은 경우에도 BER이 더 이상 낮아지지 않는 포화 상태가 발생하게 된다^{4,6}. 따라서 식 (12)는 주어진 처리 이득 내에서 특정 개수의 채널 이내에서만 유효하다.

III. HYBRID TDMA/BINARY CDMA SYSTEM (TD-BCDMA)

최근에 TDMA, FDMA와 CDMA를 혼합하기 위한 많은 연구들이 진행되어 여러 가지 혼합 방식들이 제안되고 있다^{15,16}. 이렇게 제안된 다른 방식들과 이 논문에서 제안하고 있는 방식과 가장 중요한 차이점은 혼합 시스템의 출력파형에 있다. 즉 Binary CDMA의 출력파형이 TDMA와 동일하기 때문에 TD-BCDMA는 TDMA와 같은 출력파형을 가지게 된다.

그림 5에 TD-BCDMA의 구조와 두개의 단말 간에 Time Division Duplex(TDD)로 통화는 예를 보 였다.

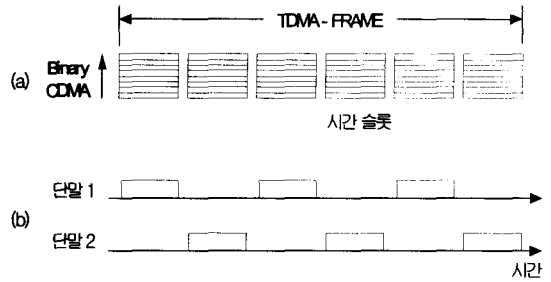


그림 5. TD-BCDMA 구조와 TDD 동작

이 그림은 TDMA 프레임 구조 위에 Binary CDMA를 전송하고 있는 혼합 구조를 보이고 있다. 매 시간 슬롯 내에 Binary CDMA로 변조된 신호들이 TDMA와 동일한 신호 파형을 가지고 전송되고 있다. 따라서 각 시간 슬롯은 외형상으로는 TDMA 신호와 동일하게 보일지라도 M 개의 채널이 코드 분할되어 전송되고 있다. 각 채널의 정보 비트들은 L 칩 길이의 직교 코드에 의해 확산된다. 그림 5(b)에서는 두 개의 단말이 TDD로 동작하는 예를 보였는데 이때 단말 간 초기 통화로 구성을 위한 초기 동기 및 통화 중 동기 유지가 절대적으로 필요하다.

TD-BCDMA는 TDMA가 가지는 장점을 그대로 가지고 있다. 즉 수신기 구조 및 통화기 구조가 그리 복잡하지 않은 것과, 사용자 간 분리가 거의 완벽하게 이루어진다는 것, 그리고 송신 전력 제어가 까다롭지 않다는 등이 장점을 가진다. 사용자 각각에게 시간 슬롯을 많이 혹은 적게 할당함으로써, 요구에 따라서 유연하게 데이터 전송률을 조정할 수 있다. 또한 Binary CDMA는 멀티 코드 CDMA이므로 사용자에게 할당하는 코드의 개수를 조정하여 쉽게 가변 데이터 전송률을 구현할 수 있다. 각 시간 슬롯에 코드 개수를 가변적으로 사용하더라도 TD-BCDMA의 출력 파형은 이진 형태를 보여 준다. 최대 데이터 전송률은 모든 시간 슬롯, 주파수 밴드 그리고 셀 내의 모든 코드를 한 사용자에게 할당함으로써 얻는다.

그림 6에 TD-BCDMA의 시간 슬롯과 멀티 코드를 적절히 사용하여 사용자 A가 베이스와 통화 하면서 사용자 B와 베이스 간의 통화를 중계하는 과정을 도시하였다. 여기서 베이스는 두개의 통화 채널 구성이 동시에 가능하기 위하여 가입자 선로를 두개 가지고 있는 전화기 구조라고 가정한다.

이때 베이스와 사용자 A는 직접 통화 가능 거리 내에 있고, 베이스와 사용자 B는 직접 통화 가능 거리 밖에 있다. 그리고 사용자 A와 사용자 B는 직접 통화 거리 내에 있어서 사용자 A가 사용자 B에게 베이스의 데이

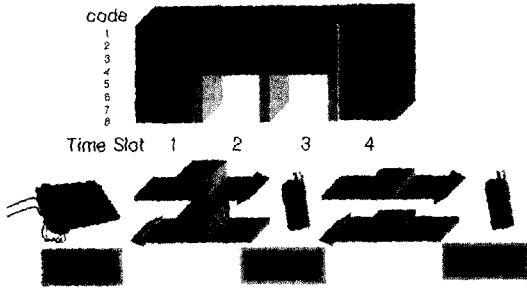


그림 6. Ad hoc 데이터 중계 예

터를 중계하게 된다. 현재 두 개의 통화 채널이 구성되어 있는 상태에서 동작 원리를 설명하면 다음과 같다. 이때 하나의 단말에서 전송하는 음성 데이터양은 4개의 시간 슬롯 동안에 4개의 코드를 사용하여 전송되는 분량이라고 가정한다. 즉, 한 개의 시간 슬롯에 해당하는 음성 데이터를 한 개의 코드에 담아서 한 개의 시간 슬롯에 전송할 수도 있고, 4개의 시간 슬롯에 해당하는 음성 데이터를 4개의 코드에 담아서 매 4개 시간 슬롯 중 한 개의 시간 슬롯에 전송할 수도 있다. 이 경우 전송 지연시간이 다르다는 것 외에는 전송되는 데이터양은 동일하다.

이 예에서 보면, 베이스는 사용자 A와 사용자 B에게 보낼 데이터를 8개의 코드를 사용하여 동시에 첫 번째 시간 슬롯을 이용하여 사용자 A에게 전송한다(1, 2). 8개의 코드의 데이터를 받은 사용자 A는 자신에게 온 4개 코드 분량의 데이터를 자신에게 놓아두고 나머지 4개 코드 분량의 데이터를 다음 시간 슬롯에 사용자 B에게 전송한다(3). 데이터를 받은 사용자 B는 베이스에 전송할 자신의 4개 코드 분량의 데이터를 사용자 A에게 시간 슬롯 3을 이용하여 전송하며 중계를 요구한다(4). 중계 요구를 받은 사용자 A는 사용자 B의 데이터와 자신이 베이스에 보낼 데이터를 8개의 코드를 이용하여 4 번째 시간 슬롯을 이용하여 베이스에 전송한다(5,6). 결과적으로 4개의 시간 슬롯 동안에 각각의 사용자들은 4개의 코드 분량의 데이터를 통화 당사자간에 상호 교환하게 된다. 각 시간 슬롯 동안에 사용되는 코드의 개수는 4개 또는 8개로 변하지만 전송되는 파형은 항상 binary를 유지하게 된다.

IV. 동기 구조의 성능 비교

TD-BCDMA는 앞 절에서 설명한 바와 같이 각 시간 슬롯에 사용되는 코드의 개수가 다르더라도 전송신호의 파형이 binary인 점을 이용하여,

TD-BCDMA의 동기 구조를 일반적인 CDMA와 다르게 설계할 수 있다. 즉, 일반적인 CDMA에서와 같이 동기 채널을 사용하지 않고 TDMA에서와 같이 동기용 프리앰블을 사용하여 동기를 획득할 수 있다. 따라서 이 장에서는 TD-BCDMA의 동기 구조로서 사용가능한 두 가지 동기 구조, 즉 TDMA에서 사용하는 프리앰블 구조와 CDMA에서 사용하는 동기채널 구조에 대해 그 성능을 AWGN 채널 환경 하에서 false alarm 확률 대 detection 확률 관점에서 본 Receiver Operating Characteristics 성능과 채널 환경에 따른 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 구하여 상대 성능을 비교 평가하여 본다.

매 시간 슬롯 내에 binary CDMA로 변조된 신호들이 TDMA와 동일한 신호 파형을 가지고 전송되고 있고 각 시간 슬롯은 M 개의 채널이 코드 분할되어 전송되고 있다. 각 채널의 정보 비트들은 L 칩 길이의 직교 코드에 의해 확산된다. 각 직교 코드들은 시간 슬롯 내에서 상호 동기 되어 있다. 매 시간 슬롯은 Time Division Duplex로 동작하기 위하여 송수신기 간에 동기 되어 져야 한다. 그림 7에 TDMA 프레임 구조에서 하나의 시간 슬롯에 적용한 동기 구조를 보여주고 있다. 적용한 두 가지 구조는 (a) 길이가 L 인 프리앰블을 사용하는 구조, (b) M 개의 입력 채널 중에서 하나를 동기 채널로 지정하여 길이가 $M \cdot L$ 인 코드를 사용하는 구조이다.

이 두 구조의 성능을 비교하기 위하여 다음과 같이 가정한다.

1. 양 구조에서 동기용으로 사용되는 전체 에너지는 상호 동일하다.
2. 양 구조 모두 동기 획득을 위해 이상적인 상관기(매치 필터)를 사용한다.

따라서 (a) 경우 M 개의 채널에서 나오는 $M-1$ 개의 정보 비트들이 L 길이의 코드로 확산되어 합하여서 만들어진 $(M-1) \cdot L$ 칩 데이터에 L 칩 프리앰블을 연결하여 하나의 시간 슬롯을 구성한다. (b)의 경우 $M-1$ 개의 채널

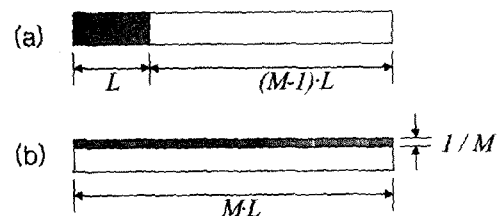


그림 7. 시간 슬롯 (a) preamble detection, (b) synchronizing channel detection

널에서 나오는 정보 비트에 L 길이의 코드로 확산되어 합하여서 만들어진 $M \cdot L$ 칩의 데이터와 하나의 $M \cdot L$ 길이의 동기 채널을 합하여 하나의 시간 슬롯을 구성한다. 이렇게 하여 프리앰블의 에너지와 동기 코드의 에너지가 같게 한다.

False alarm 확률은 입력 신호 열이 프리앰블 신호가 아님에도 불구하고 동기 코드와 우연히 일치하여 상관기의 출력이 정해진 문턱값 이상으로 나오는 경우의 발생 빈도로서, 채널의 영향에 무관하게 입력 신호열의 패턴이 프리앰블의 패턴과 일치되는 경우이다.

Detection 확률은 전송된 프리앰블이 채널의 오류 상황에서 오류가 발생하더라도 상관기 출력이 문턱값 이상으로 나오는 경우의 빈도로서, 채널의 BER 특성에 의존하게 된다.

동기 구조를 선택할 때 Detection 확률이 높을 때 False alarm 확률이 낮은 구조가 바람직하다. 즉 같은 False alarm 확률에서 Detection 확률이 높은 것이 우수한 구조라 할 수 있다. False alarm 확률과 Detection 확률은 다음과 같이 정의 된다.

False alarm 확률:

$$P_{fa} = \sum_{i=Th}^L C_i (.5)^i \cdot (.5)^{(L-i)} = \sum_{i=Th}^L C_i (.5)^L \quad (13)$$

Detection 확률:

$$P_D = \sum_{i=Th}^L C_i (1 - P_e)^i \cdot (P_e)^{(L-i)} \quad (14)$$

여기서 L 과 Th 는 각각 코릴레이터의 길이와 문턱값, P_e 는 오류 확률을 말한다. E_b 를 비트 당 에너지라 하고 E_c 를 확산 코드의 칩 당 에너지라고 할 때, 계산을 위한 파라미터들을 다음과 같이 정의한다.

(a) 경우:

프리앰블 길이: L ,

데이터 길이: $(M - 1) \cdot L$,

오류 확률: $P_e = Q\left(\sqrt{2E_c/N_o}\right)$,

여기서 $E_c = E_b/L$

(b) 경우:

동기코드 길이: $M \cdot L$

데이터 길이: $M \cdot L$,

오류 확률:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\left(\frac{M-1 C_{M-1}}{2^{M-1}}\right)^2 M \frac{2E_c}{N_o}}\right)$$

여기서 $E_c = E_b/L/M$ 이다.

위의 파라미터를 이용하여 detection 확률을 false alarm 확률의 함수로 보인 결과를 그림 8에 얻었다. 이것은 Receiver Operating Characteristics 라고 알려져 있다^[17].

이 결과는 L 이 64 일 때, E_c/N_o 가 각각 -8 dB과 -14 dB인 경우에 입력 채널의 개수 M 이 3, 7, 11, 15 일 때 두 동기 구조의 False alarm 확률과 detection 확률의 관계를 나타내 보이고 있다.

실선이 프리앰블 구조를 나타내고 나머지는 각 채널 별 동기 채널 구조의 특성을 나타낸다. 동기 구조를 선택함에 있어 낮은 False alarm 확률을 가지면서 높은 Detection 확률을 갖기를 원한다. 이 결과 그림에서 보면 같은 False alarm 확률에서 Detection 확률이 프리앰블 구조가 더 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러므로 TD-BCDMA에의 동기 구조는 False alarm 확률 대 Detection 확률 관점에서 볼 때 프리앰블 구조가 동기 채널 구조에 비해 조금 더 좋은 성능을 보여주고 있다.

또 다른 성능 비교 관점으로 false dismissal 확률을 고려해 볼 수 있다. False dismissal 확률(P_{FD})

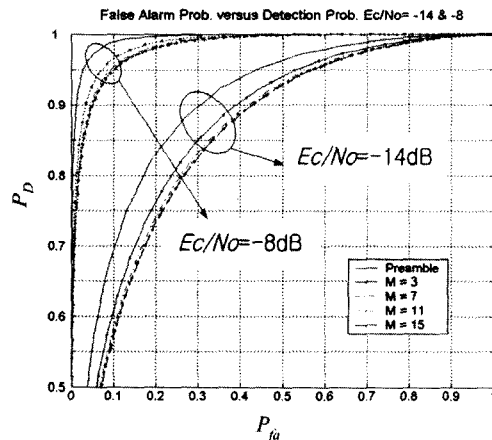


그림 8. False alarm 확률 대 detection 확률, $E_c/N_o = -8$ dB, 14 dB, 입력 채널 개수 $M=3, 7, 11, 15$ 일 때

은 프리앰블이 전송되었는데 채널 잡음의 영향으로 수신측에서 인지하지 못하는 경우를 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$P_{FD} = 1 - P_D \quad (15)$$

시스템의 구현 관점에서 보면 false alarm 확률과 false dismissal 확률이 동시에 낮은 경우가 바람직하다. 그림 9는 프리앰블 동기를 사용하는 경우, 그림 10, 11은 동기채널을 사용하는 경우에 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 문턱값의 함수로 나타내었다. 일반적으로 상관기의 문턱값을 낮게 설정하면 false alarm 확률이 높아지고 false dismissal 확률은 낮아진다. 반면 문턱값을 높게 설정하면 false alarm 확률이 낮아지고 false dismissal 확률은 높아진다. 따라서 시스템에서 요구하는 성능 지표에 맞추어 문턱값을 설정해야 한다. 이 그림들에서 P_{fa} 와 P_{FD} 가 동시에 10^{-3} 이하로 유지되기 위한 채널의 상태를 비교하여 성능을 평가할 수 있다.

그림 9에서 보면 64 비트의 프리앰블을 사용하는 경우로써 문턱값으로 45를 사용할 경우, E_c/N_0 가 -2dB 일 때 P_{fa} 는 10^{-3} , P_{FD} 는 10^{-4} 정도를 유지함을 알 수 있다. 채널 잡음이 적어져서 E_c/N_0 가 상승하면 P_{FD} 가 급격히 감소하게 된다. 즉 E_c/N_0 가 -2dB 보다 약간 낮은 상태에서 P_{fa} 와 P_{FD} 가 동시에 10^{-3} 이하로 유지된다.

그림 10에는 5개의 채널 중 하나를 동기채널로 사용하는 경우에 문턱값에 따른 P_{fa} 와 P_{FD} 의 변화를 보이고 있다. 이 경우 P_{fa} 가 10^{-3} 를 유지하는 문턱값 188인 경우, E_c/N_0 가 -2dB 시 P_{FD} 는 10^{-3} 이상이 된다. 따라서 P_{fa} 와 P_{FD} 가 동시에 10^{-3} 이하로 유지하기 위해서는 E_c/N_0 가 -2dB 보다 약간 높은 상태이어야 한다.

그림 11은 9개의 채널 중 하나를 동기채널로 사용하는 경우에 문턱값에 따른 P_{fa} 와 P_{FD} 의 변화를 보이고 있다. 이 경우 P_{fa} 가 10^{-3} 를 유지하는 문턱값 326인 경우, E_c/N_0 가 -2dB 시 P_{FD} 는 채널 5의 경우보다 더욱 높아진다.

따라서 시스템이 요구하는 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 유지하는 것이 프리앰블 구

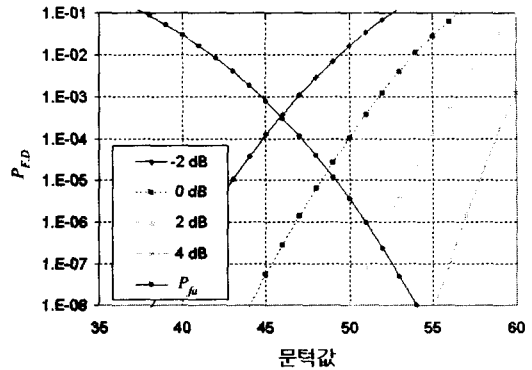


그림 9. 문턱값에 따른 P_{fa} 와 P_{FD} 의 변화, $L=64$, $E_c/N_0=\{-2...4dB\}$

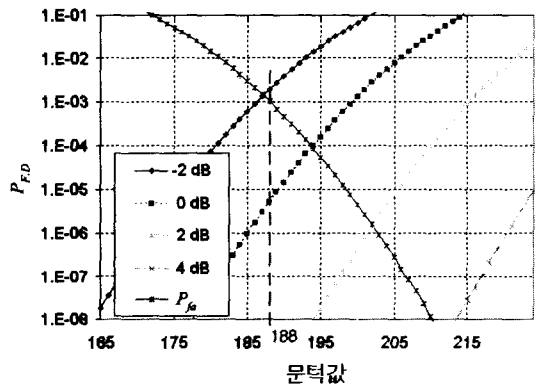


그림 10. 문턱값에 따른 P_{fa} 와 P_{FD} 의 변화, $L=320$, $E_c/N_0=\{-2...4dB\}$, 입력 채널 개수 $M=5$

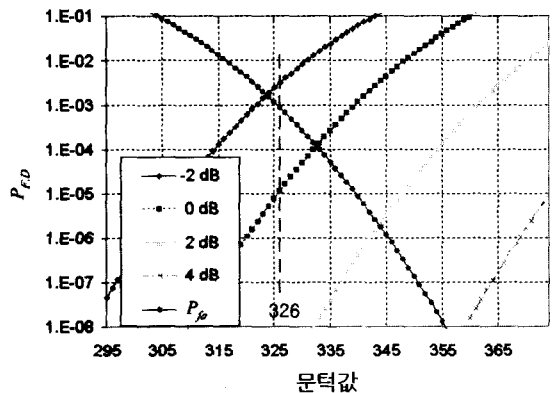


그림 11. 문턱값에 따른 P_{fa} 와 P_{FD} 의 변화, $L=576$, $E_c/N_0=\{-2...4dB\}$, 입력 채널 개수 $M=9$

조가 동기채널 구조보다 더 낮은 E_c/N_0 에서 가능하다. 즉 같은 E_c/N_0 환경에서 프리앰블 구조가 동기채널 구조보다 false alarm 확률과 false dismissal 확률이 더 낮다.

또한 실제 구현 관점에서 보면 $M \cdot L$ 길이의 이상적인 상관기를 구현하기는 쉬운 일이 아니기 때문에 상대적으로 작은 상관기로 초기 탐색 과정을 가져야만 한다. 따라서 초기 획득 시간의 관점에서 L 길이의 프리앰블만을 탐색하는 프리앰블 구조가 $M \cdot L$ 길이를 탐색하는 동기 채널 구조보다 유리하다고 할 수 있다.

V. 결론

일정 진폭 멀티 코드 CDMA의 하나인 Binary CDMA와 TDMA를 결합한 혼합 다중 접속 방식을 제안하고, 이 방식에 적합한 동기 구조를 얻기 위하여 두 가지 동기 구조에 대한 False alarm 확률에 대한 Detection 확률의 관점에서 Receiver Operating Characteristics 성능과 시스템의 요구하는 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 충족하기 위한 채널 환경을 비교 평가하였다.

Binary CDMA는 펄스폭 CDMA에서 절삭값을 1과 -1로 하여 신호를 이진 형태로 변환하는 방식으로 멀티 코드 CDMA임에도 불구하고 출력 파형의 진폭의 변동 없이 일정한 특징을 가지고 있다. 출력 신호의 변동을 제한하기 위한 방안으로 적용된 절삭에 의해 발생하는 정보의 손실로 인해, DS/CDMA에 비해 성능이 저하되나 특정 채널 개수 내에서는 일부 성능 저하를 감수하고 일정 진폭을 얻음으로써 가질 수 있는 장점을 활용하며 사용 가능하다. 즉, 송수신 구조가 간단해지며, 비선형 증폭기 사용이 가능해지고, PAPR (Peak to Average Power Ratio)가 낮아지는 등의 장점을 활용할 수 있다. 또한 Binary CDMA의 출력신호 파형이 TDMA와 동일하기 때문에 Binary CDMA를 이용한 TDMA와의 혼합 구조(TD-BCDMA)의 출력 신호도 TDMA와 동일한 출력신호 파형을 갖는다. 따라서 TD-BCDMA는 기존의 TDMA 시설에 쉽게 적용 가능하다. TD-BCDMA의 구조와 이 시스템에서 어떻게 Ad Hoc 중계 기능을 손쉽게 구현 할 수 있는지를 데모하였다. 시간 슬롯과 코드 채널의 개수를 적절히 할당함으로써 요구에 따라 가변 데이터 전송률을 실현할 수 있다. 각각에 다양한 데이터 전송률의 요구에 따라 시간 슬롯에 할당된 코드 개수

가 다르더라도 TD-BCDMA의 출력 파형의 항상 이진 형태이다.

이 혼합 다중 접속 방식에 적합한 동기 구조를 얻기 위하여 적용 가능한 두 가지 동기 구조 즉, 프리앰블 구조와 동기 채널 구조에 대하여 False alarm 확률 대 Detection 확률의 관점에서 Receiver Operating Characteristics 성능을 비교하여 보았다. 동기 구조를 선택함에 있어 낮은 False alarm 확률을 가지면서 높은 Detection 확률을 갖는 동기구조가 더 유리하다는 관점에서 볼 때, 프리앰블 구조의 Detection 확률이 더 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

또한 시스템의 요구하는 false alarm 확률과 false dismissal 확률을 충족하기위한 채널 환경을 비교 평가하여 볼 때, 프리앰블 구조가 채널 수에 무관하게 동기 구조에 비해 더 낮은 채널환경에서도 요구 조건을 충족하는 것으로 나타났으며, 동기 채널 구조는 채널 수가 증가할수록 성능이 열화되고 있다.

채널 수가 증가하면 절삭에 의한 손실로 인해 BER 성능이 저하되는 Binary CDMA가 가지는 특성으로 인해 프리앰블 구조가 동기 채널 구조에 비해 조금 우수한 성능을 보이고 있다. 또한 긴 코드에 대한 상관기의 설계가 현실적으로 어려운 문제로 인하여 짧은 길이의 코드를 사용하여 동기 획득을 하게 되어 초기 획득 시간도 길어지게 된다. 결과적으로 프리앰블 구조가 동기 채널 구조에 비해 TDMA와 Binary CDMA 혼합 구조에서 실질적이고 적용 가능한 동기 구조로 적합하다.

참고 문헌

- [1] Baier, P.W., "CDMA or TDMA? CDMA for GSM?", *PIMRC '94/WCN*, Sep. 1994.
- [2] C-L. I and K. K. Sabnani, "Variable spreading gain CDMA with adaptive control for integrated traffic in wireless network," *Proc. VTC'95*, Chicago, July 1995.
- [3] C-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," *Proc. ICC'95*, Seattle, June 1995.
- [4] 류승문, 김재우, 김효성, 문장식, "Performance comparison of PW/CDMA and DS/CDMA," *Proc. JCCI 2001*, Apr. 2001..
- [5] J. K. Oh, S. P. Kim, M. J. Kim, H. S. Ahn, and

S. M. Ryu, "Orthogonal Multi-code CDMA Systems with Constant Amplitude Transmission Based on Level Clipping and Pulse Width Modulation," *Proc. ICOIN 2002*, 30 January 2002.

[6] 안호성, 류승문, 나성웅, " Binary CDMA 소개", *Proc. JCCI 2002*, April 2002

[7] J. K. Oh, S. P. Kim, M. J. Kim, H. S. Ahn, and S. M. Ryu, "Orthogonal Multi-code CDMA Systems with Constant Amplitude Transmission Based on Level Clipping and Pulse Width Modulation," *Proc. ICOIN'2002*, 30 January 2002.

[8] S. P. Kim, J. K. Oh, M. J. Kim, H. S. Ahn, and S. M. Ryu, "On the selection of code set for binary multi-code CDMA system," *Proc. ICOIN'2002*, 30 January 2002.

[9] 류관웅, 박용완, 안호성, 류승문, "이진 부호화된 PW/CDMA에서 Clipping Error 분석과 에러 제거 알고리즘에 대한 연구", *JCCI 2002 VI-A.3*, April 2002

[10] C.Y. Ahn, C.H. Ahn, D.G. Kim, and S.M Ryu, "Performance Evaluation of Multi-Phased MC-CDMA System for Transmitting the High Rate Data", *Korean Institute of Communication Sciences*, Vol.26, No.12, 2001

[11] Cheol Yong Ahn, Dong Ku Kim, Chi Hun Ahn, and Seung Moon Ryu, "Multi Phased MC-CDMA System for Transmitting the High Rate Data," *The 6th CDMA International Conference*, Nov. 2001

[12] Cheol Yong Ahn, Chi Hun Ahn, Seung Moon Ryu and Dong Ku Kim, "Performance of the Multi Phased MC-CDMA System with Nonlinear Amplifier", *WCNC 2002*

[13] 홍인기, 안무건, 이원문, 류승문, "MP/CDMA를 위한 신호 성상 설계", *JCCI 2002 VI-A.4*, April 2002

[14] 김성필, 김명진, 안호성, 류승문, "CS-CDMA 시스템을 위한 정 포락선 부호화 방식", *JCCI 2002 VI-A.2* April 2002

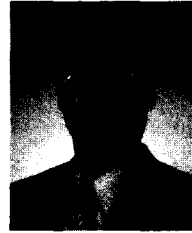
[15] K. Kammerlander, "Benefits of combined TDMA/CDMA operation for third generation mobile radio systems", *IEEE 4th international Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings*, vol.2, pp507-512, Sept. 1996.

[16] R. Prasad, J.A.M. Nijhof, H.I. Cakil, "Hybrid

TDMA/CDMA multiple access protocol for multi-media communications", *IEEE International Conference on Personal Wireless Communications*, Feb. 1996

[17] Andrew J. Viterbi, *Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison Wesley, p50, 1995.

안 호 성 (Ho Seong Ahn) 정회원



1979년 2월: 서강대학교
전자공학과 공학사
1993년 1월: Monmouth
대학교 전자공학과 공학석사
2004년 2월: 충남대학교
전자공학과 공학박사
1979년 ~ 2001년:
국방과학연구소

2001년 4월 ~ 현재: (주)카서
<관심분야> 무선 통신 시스템, 무선망 설계 및 프로토콜, Binary CDMA 모델 설계

나 성 웅 (Sung Woong Ra) 정회원



1976년: 서울대학교
전기공학과 공학사
1978년: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
공학석사
1992년: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 공학박사

1978년 ~ 1980년: 상공부 전자전기공업국 전기기과
1980년 ~ 현재: 충남대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 영상 통신, Image Coding