

## 음성 / 데이터 집적서비스를 위한 CDMA 셀룰러 시스템의 성능연구

正會員 姜 君 和\* 正會員 趙 東 浩\*\*

## Performance of cellular CDMA system for voice / data integrated service

Gun-Hwa Kang\*, Dong-Ho Cho\*\* *Regular Members*

## 要 約

최근에 이동통신의 수요가 급격히 증가하고 있으며, 음성 뿐만 아니라 종합정보통신망(ISDN)에서 제공되는 데이터, 팩스, 영상 등의 비음성계 서비스가 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 PCS 시스템의 기본 핵심기술로 활용될 수 있는 디지털 셀룰러 CDMA 시스템용 음성/데이터 집적 서비스 방안들을 제시하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제시된 각 집적 서비스 방안의 성능을 비교 분석한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, CDMA의 한 논리채널을 여러 단말기가 할당받아 PRMA 방식으로 경쟁하는 PR-CDMA 음성/데이터 집적 서비스 방안이 CDMA 방식의 단점인 고정 채널갯수의 한계와 채널이용율의 저하를 극복할 수 있어 전용단말기나 음성/데이터 집적단말기를 이용한 광대역 CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안 보다 모든 면에서 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

## ABSTRACT

Recently, the demand of mobile communication is rapidly increasing. Also, not only the voice service but also the nonvoice services such as data, FAX, and image service are required. Therefore, in this paper, the voice /data intergraed service methods that will be utilized as a basic core technology of the PCS systems are proposed and their performances are analyzed and compared by computer simulation. According to the simulation results, it could be seen that the performance of voice /data integrated PR-CDMA method is better than that of voice /data integrated broadband CDMA method using a dedicated terminal or a voice /data integrated terminal. The reason is that the voice /data integrated PR-CDMA method can overcome the weak points of CDMA protocol, such as a limitation of the fixed CDMA logical channel number and a falling-off in channel utilization, by using PRMA protocol as a multiple access method that the terminals to which a CDMA logical channel is assigned compete.

\*韓國電子通信研究所 移動通信技術研究團  
ETRI\*\*慶熙大學校 電子計算工學科  
Dept. of Electronic Engineering, Kyunghee University.

論文番號 : 94107

接受日字 : 1994年 4月 15日

## I. 序 論

현대 사회가 고도의 정보사회로 발전함에 따라 이동통신의 수요는 급격히 증가하고 있으며, 음성 뿐만 아니라 종합정보통신망(ISDN)에서 제공되는 데이터, 팩스, 영상 등의 비음성계 서비스가 요구되고 있다. 따라서 이동통신 시스템은 한정된 주파수 대역에서 가입자 수용 용량을 높이기 위하여 주파수 재사용 효율이 높고, 비음성계 서비스가 용이한 디지털 셀룰러 이동통신 시스템으로 발전해가고 있다.

현재 국내외에서 개발되고 있는 디지털 셀룰러 이동통신 방식은 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식과 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식으로 크게 나누어지는데, TDMA 방식에는 유럽의 GSM(Group Special Mobile)에서 개발중인 광대역 TDMA, 일본과 북미에서 개발중인 협대역 TDMA, 그리고 미국 Hughes사에서 개발중인 Extended TDMA가 있다. 또한 대역확산기법을 이용하여 주파수 재사용 효율을 극대화시킨 CDMA 방식에는 미국 Qualcomm사가 개발중인 협대역 CDMA, 미국 동부의 Millicom사와 SCS mobilecom사를 비롯한 여러 회사들이 PCN(Personal Communication Network)을 목표로 개발중인 광대역 CDMA 방식이 있다<sup>1)</sup>.

CDMA 방식은 대역확산 통신방식에 기초한 것으로, 전송속도가 R bps인 정보를 이보다 전송속도가 높은 특정 긴 부호시퀀스와 exclusive OR 처리를 함으로써 출력 신호의 전송속도를 높여 주파수 대역폭을 확산시키는 방식이다. 그러므로 호가 설정된 송수신 단말기는 정보전송을 위해 다른 긴 부호 시퀀스와 직교성을 가지는 동일한 긴 부호 시퀀스를 사용한다. 이때 다른 긴 부호 시퀀스를 사용하여 송신된 정보는 동일한 전송 주파수에 실려 동시에 수신된다 해도 직교성이 있으므로 역확산되지 않고 잡음으로 처리된다. 또한 CDMA 셀룰러 시스템에서는 정보전송을 위한 각 채널이 부호 시퀀스에 의해서 논리적으로 분리되므로 인접 셀에서도 같은 주파수대역을 공유할 수 있어 기존의 CAI(Common Air Interface) 방식보다 주파수 재사용 효율이 높은 방식이다<sup>2,3,4)</sup>. 그러나 이러한 CDMA 방식에서도 한 단말기가 한 전용 논리채널을 할당받아 정보를 교환하므로 전 구간의 트래픽양이 약 5% 밖에 안되는 대화형 데이터 트래픽이나 전 구간의 65% 이상이 묶음 구간인 음성 트

래픽을 서비스하는데는 채널이용률 측면에서 비효율적인 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 CDMA의 이러한 단점을 보완하기 위해 경쟁방식 중 음성/데이터 집적환경에서 대화형 데이터 트래픽에 우수한 성능을 나타내는 PRMA(Packet Reservation Multiple Access) 방식을 CDMA 방식과 혼합하여 CDMA 방식의 단점을 극복하고 주파수 재사용 효율을 극대화 할 수 있는 PR-CDMA(Packet Reservation-CDMA) 방식을 제안한다. 아울러, 광대역 CDMA 셀룰러 시스템용 음성/데이터 집적서비스 방안을 1, 2단계로 나누어 도출하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제시된 각 집적 서비스 방안의 성능을 비교 분석한다.

제1장 서론에 이어, 제2장에서는 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에서의 음성/데이터 집적방안을 1, 2단계로 나누어 도출하며, 제3장에서 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안을 제안한 후, 제4장에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 두 방안의 성능을 비교 분석하고, 끝으로 제5장에서 결론을 맺는다.

## II. 광대역 CDMA 셀룰러 시스템용 음성/ 데이터 집적서비스 방안

B-CDMA(Broadband CDMA) 방식은 전송대역폭을 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서 사용하는 대역폭의 수십배 만큼 확대시킨 방식으로서, 협대역 CDMA 셀룰러 시스템 보다 더 많은 가입자를 지원하고 보다 다양한 트래픽을 서비스할 수 있어 최근에 PCN 서비스를 위한 CAI로서 활발히 연구 중에 있는 방식이다. B-CDMA 방식에서 사용자 데이터를 광대역으로 확산시킴으로서 생기는 잇점은, 프로세싱 이득이 확대된 주파수 대역폭에 비례하여 증가하기 때문에 가입자 수용용량이 증가된 프로세싱 이득에 비례하여 증가하게 되며, 사용자 정보의 부호심볼을 광대역으로 확산시키기 위하여 chipping rate을 그만큼 증가시킴으로서 페이딩으로 인한 지연된 신호가 chipping 간격 보다 시간적 측면에서 더 늦게 도착되어 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서 보다 페이딩으로 인한 왜곡이 덜 심하게 나타난다는 것이다.

본 논문에서는 B-CDMA 셀룰러 시스템의 대역폭을 협대역 CDMA 셀룰러 시스템의 대역폭의 10배인 12.3MHz로 가정하며, 전송속도를 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서와 동일한 9600bps로 가정한다. 따라서 프로세싱 이득(W/R)이 10배로 증가하게 되므

로 다음의 CDMA 용량 식(1)에 따라 가입자 용량은 프로세싱 이득에 비례적으로 증가하며, 협대역 CDMA 셀룰러 시스템의 프로세싱 이득을 그대로 유지할 경우 10배의 가입자 용량인 최대 640명의 가입자를 한 셀내에서 서비스 할 수 있게된다[1].

$$N = \frac{W}{R} * \frac{1}{\frac{E_b}{N_0}} * \frac{1}{d} * F * G \quad \text{식(1)}$$

- N = 한셀당 가입자수
- W = 확산대역폭
- R = 데이터 전송속도
- $E_b/N_0$  = 비트에너지당 잡음전력밀도
- d = 음성 뉴티 싸이클
- F = 주파수 재사용 효율
- G = 섹터화 이득

본 논문에서는 B-CDMA 셀룰러 시스템에서의 음성/데이터 집적 서비스 방안을 1, 2단계로 나누어도 출하였으며, 음성/데이터 집적을 위한 CDMA 역방향 트래픽 채널구조는 협대역 CDMA 셀룰러 시스템의 역방향 채널구조[2]를 그대로 사용하였다.

### 1. 1단계 음성/ 데이터 집적서비스 방안

1단계 음성/데이터 집적서비스 방안은 음성과 데이터를 집적 서비스하기 위한 초기단계 음성/데이터 집적방안으로서, 음성 혹은 이동 데이터 전용단말기를 역방향 트래픽 전용채널에 서비스하는 집적 서비스 방안이다. 이 방안은 DS/CDMA의 회전 교환방식을 그대로 사용하므로 음성의 묵음구간이나 데이터 트래픽의 휴지기간에는 정보전송이 일어나지 않기 때문에 채널이용률 측면에서는 다소 비효율적인 방안이다.

1단계 음성/데이터 집적 서비스를 위해서는 먼저 호 접속시 비음성 서비스 옵션에 대한 협의가 기지국과 이동단말기 사이에 이루어져야 한다[3]. 만약 비음성 서비스 옵션에 대한 협의가 이루어질 경우, 기지국은 비음성 서비스를 위한 전용 트래픽 채널을 하나 할당한다. 전용 트래픽 채널을 할당 받은 이동 데이터 단말기는 primary traffic이나 9600bps 프레임의 secondary traffic으로서 데이터 정보를 전송한다 [4]. 1단계 음성/데이터 집적서비스 방안에 대해서는 그림 1에 잘 도시화되어 있다.

데이터 트래픽에 대해서는 전송 오류에 대한 재전송 기법이 요구되는데, 본 연구에서는 현재 Qualcomm

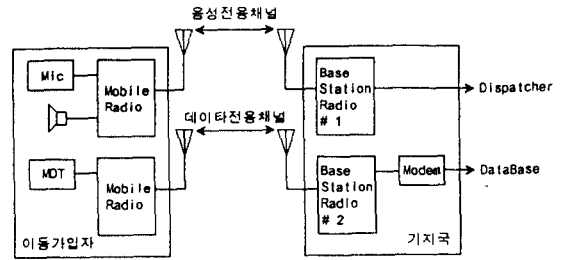


그림 1. 전용 채널을 이용한 1단계 음성/데이터 집적서비스 방안

Fig. 1. First phase voice /data integrated service method using a dedicated traffic channel

m사에서 개발중인 DS/CDMA 셀룰러 시스템에서 신뢰성있는 신호정보 전송을 위해 채택된 고정 원도우(modulo 4) SR ARQ을 그대로 사용한다. 특히 오류가 심할때에는 같은 프레임을 여러번 전송하는 quick repeat 기법 또한 고려하였다. 한편 음성 트래픽인 경우 기존의 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서와 동일한 방식으로 서비스된다.

1단계 음성/데이터 집적서비스 방안은 음성과 데이터의 통계적 특성 때문에 채널이용률이 다소 떨어진다. 단점이 있으나 쉽게 구현할 수 있다는 점에서 효과적인 초기 단계의 음성/데이터 집적 서비스 방안이라고 볼 수 있다.

### 2. 2단계 음성/ 데이터 집적서비스 방안

2단계 음성/데이터 집적서비스 방안은 1단계 음성/데이터 집적서비스 방안의 단점인 채널이용률의 저하를 극복하기 위한 방안으로 음성/데이터 집적 단말기를 이용하여 음성과 데이터를 한 채널에 집적시키는 개선된 음성/데이터 집적서비스 방안이다. 이 집적서비스 방안은 음성의 묵음구간에 데이터를 서비스하는 TASI 기법을 사용한다. 음성의 묵음구간은 전체 음성 뉴티 싸이클의 약 60% 이상을 차지하므로, 이 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안은 채널이용률 측면에서 1단계 음성/데이터 집적서비스 방안 보다 최소 50% 이상의 채널이용률의 향상을 꾀할 수 있는 효율적인 방안이다. 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안에 대해서는 그림2에 잘 나타나있다.

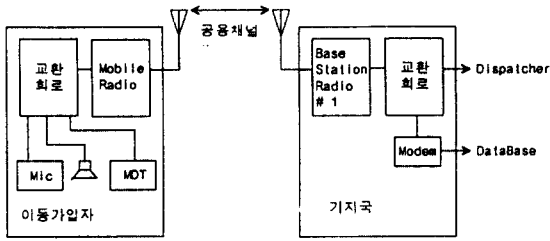


그림 2. 공통 채널을 이용한 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안

Fig 2. Second phase voice/data integrated service method using a common traffic channel

2단계 음성/데이터 집적서비스를 위한 역방향 CDMA 채널구조는 현대역 CDMA셀룰러 시스템의 역방향 채널구조 및 9600bps의 정보필드 구조를 그대로 사용하며, 한 채널에 서로 상이한 트래픽을 집적하여 서비스하기 위해서 음성 트래픽은 primary traffic으로서 서비스되며, 데이터 트래픽은 secondary traffic으로서 서비스된다. 음성의 발음구간 동안 음성 트래픽이 8kbps 전송속도로 부호화될 경우, 발생된 데이터 트래픽은 큐잉되며, 4kbps 전송속도로 부호화될 경우 발생된 데이터 트래픽은 음성 트래픽을 서비스하고 남은 프레임의 정보필드 구간인 88 비트 만큼 서비스된다. 또한 2kbps일 경우, 128 비트, 0.8kbps일 경우 152 비트 만큼의 데이터 트래픽이 서비스된다. 따라서 이 음성/데이터 집적 서비스 방안에서는 음성의 액티비티를 얼마만큼 효율적으로 검출하는가가 성능에 크게 영향을 준다. 가변 속도 음성 트래픽의 검출기법에 대해서는 제4장에서 자세히 다루고 있다.

신뢰성있는 데이터 전송을 위한 오류제어 기법은 1단계 집적서비스 방안에서와 같이 고정원도우(modulo 4) SR ARQ와 quick repeat 기법을 그대로 사용한다.

2단계 음성/데이터 집적서비스 방안은 1단계 음성/데이터 집적방안 보다 채널 이용율을 증가시켜 가입자의 수용용량을 증가시킬 수 있다는 장점이 있으나, CDMA의 고정논리채널갯수의 한계로 인해 일반적으로 전 구간의 트래픽량이 약 5% 밖에 안되는 대화형 데이터 트래픽을 서비스하는데는 채널이용율의 저하라는 CDMA 단점이 그대로 존재하며, 음성/데이터 집적 단말기를 개발하는데 많은 복잡도를 가지고 있다<sup>7)</sup>.

### III. PR-CDMA(Packet Reservation-CDMA)

PR-CDMA 방식은 CDMA의 단점인 고정논리채널갯수의 한계로 인한 채널이용율의 저하를 극복하기 위하여 광대역 CDMA 방식에 경쟁방식 중에서 음성/데이터 집적 환경하에서 우수한 성능을 보이는 PRMA 방식을 혼합한 변형된 음성/데이터 집적 서비스 방안이다. PR-CDMA 방식에서는 광대역 CDMA 방식에서와 같이 12.3MHz의 확산 대역폭을 사용하는데, 수용가입자 수를 10배로 늘리는 광대역 CDMA 방식과는 달리 식(1)에서와 같이 프로세싱 이득을 그대로 유지하면서 20ms 주기를 갖는 64개의 각 논리채널의 전송속도를 10배 즉 96Kbps로 늘리고, 각 논리 채널을 2ms 주기의 10개의 타임슬롯으로 분할하여 PRMA 방식으로 서비스하는 음성/데이터 집적 서비스 방안이다. 따라서 PR-CDMA 셀룰러 시스템에서는 한 논리채널에 해당하는 long code sequence를 다수의 가입자가 할당받아 PRMA 방식으로 경쟁하여 채널 이용율을 극대화하기 때문에 순수 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에서 보다 더 많은 가입자를 서비스할 수 있다.

PR-CDMA 방식의 역방향 논리채널 구조에 대해서는 그림3에 잘 나타나 있는데, 12.3MHz의 CDMA 역방향 채널이 직접시퀀스 확산기법(direct sequence spread spectrum)에 의해 96Kbps 속도를 갖는 64개의 논리채널로 구분되고, 각 논리채널은 음성 부호화속도에 해당하는 20ms 주기의 프레임으로 구성된다. 각 프레임은 2ms 주기를 갖는 192 비트의 10개의 타임슬롯으로 세분되며, 각 타임슬롯은 GT (Guard Time) 필드, TM(Traffic Mode) 필드, 음성 혹은 데이터 정보 필드, F(Frame Check Sequence) 필드 및 부호화 tail bit인 T 필드로 구성된다. GT 필드는 슬롯과 슬롯 간의 구분을 위해 사용되며 전과지연시간에 해당하는 시간간격을 갖는다. 일반적으로 무선환경에서의 전과전송속도가  $3 \times 10^8 m/sec$ 이고 한 셀의 반경이 수 킬로미터이므로 셀 반경을 6Km로 가정할 경우, 전과지연시간은 약 0.02ms가 되며 한 타임슬롯이 192비트로 구성되므로 GT 필드는 2비트를 전송하는데 걸리는 시간간격을 갖는다. TM 필드는 2비트로 구성되며 정보필드의 정보유형을 지시하기 위해 사용되는데, 00일 경우 음성, 01일 경우 데이터, 01과 11은 기타 신호정보와 그 외의 트래픽을 지시하기 위해 사용된다. 그의 168비

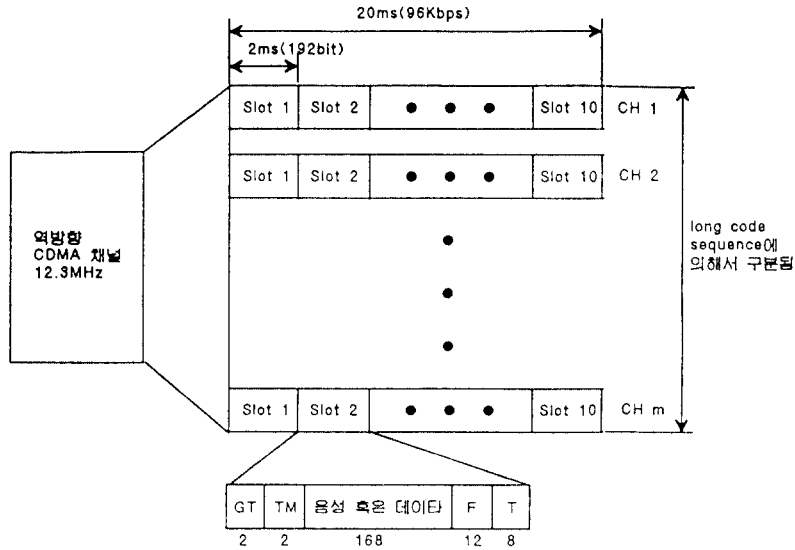


그림 3. PR CDMA 방식의 역방향 논리채널 구조  
 Fig 3. Reverse logical channel structure of PR CDMA method

트의 정보필드, 12비트의 F 필드 및 8비트의 T 필드는 현대역 CDMA 셀룰러 시스템에서와 동일하게 사용된다.

PRMA 프로토콜은 예약 ALOHA(R ALOHA) 프로토콜과 매우 유사한 예약 프로토콜로서 PRMA 프로토콜에 음성과 데이터를 집적하기 위해서는 지연에 민감한 음성 트래픽을 서비스하기 위해 음성의 발음 구간 동안 슬롯을 배타적으로 보장하는 예약방식을 사용하며 데이터 트래픽을 서비스하기 위해 슬롯을 예약하지 않고 매 패킷마다 경쟁하는 ALOHA 방식을 사용한다.

음성단말기는 발음구간이 시작될 때 예약되어 있는 않은 첫번째 타임슬롯에 대해 다른 단말기(예약받지 않은 음성단말기, 데이터단말기)들과 경쟁한다. 만약 전송이 성공하지 못하면 음성단말기는 잇달은 예약되어 있지 않은 타임슬롯에 대해 확률 q로 재전송한다. 타임슬롯을 예약받지 못한 음성단말기는 기지국으로부터 전송 성공에 대한 응답, 즉 슬롯의 예약을 알리는 응답신호(ACK)를 받을 때까지 이와같은 방법으로 계속 재전송한다. 음성슬롯의 예약은 순방향 채널을 통한 기지국으로부터의 응답을 통해 이루어지고 하나의 타임 슬롯을 예약받은 음성단말기

는 발음구간이 계속되는 동안 그 타임슬롯을 배타적으로 보장받는다. 발음구간이 끝나면 음성단말기는 빈슬롯을 전송하고 빈 슬롯을 수신한 기지국은 이 슬롯이 예약되지 않았음을 다른 모든 단말기들에게 알린다.

데이터단말기는 패킷을 전송하기 위해 예약되지 않은 타임슬롯에 대해 다른 단말기와 경쟁한다. 충돌이 발생한 경우 데이터 패킷은 확률 r로 재전송된다. 데이터 트래픽 보다 음성 트래픽에 우선순위를 두기 위해 음성 패킷의 재전송 확률(q)을 데이터 패킷의 재전송 확률(r) 보다 크게 둔다( $q < r$ ). 데이터 단말기는 패킷을 성공적으로 전송하였다 할지라도 슬롯을 예약받지 않고 전송해야할 패킷이 존재할 경우 매번 이와 같은 방법으로 경쟁한다(2566).

PR CDMA 셀룰러 시스템에서는 음성 혹은 데이터 단말기가 한 셀에서 다른 인접셀로 이동할 경우 현대역 CDMA 셀룰러 시스템에서와 같이 soft handover 과정을 거쳐 새로운 기지국으로부터 새로운 트래픽 채널을 하나 할당받는다.

이와 같이, PR-CDMA 방식은 주파수 재사용효율 측면에서의 CDMA 장점과 채널이용률 측면에서의 PRMA 장점을 혼합시킴으로서 순수 광대역 CDMA

보다 많은 가입자를 서비스할 수 있고, 대화형 비음성계 트래픽과 가변전송속도를 가지는 비음성계 트래픽 및 실시간성을 요구하는 음성계 트래픽을 효율적으로 집적할 수 있는 음성/데이터 집적방안이다.

#### IV. 시뮬레이션 환경 및 결과 고찰

##### 1. 무선채널 모델

본 논문에서는 음성/데이터 집적서비스 방안의 성능 평가를 위한 무선 채널 모델로서 AWGN, 순수 페이딩 채널 및 부호율이 1/3인 반복부호를 이용하여 채널 오율을 향상시킨 무선 채널에 대하여 고려한다.

AWGN 채널환경하에서, 프로세싱 이득이 N이고, 기준셀내에 K명의 가입자가 동시에 사용중이며, 그 외의 셀에 Kr\*K명의 가입자가 존재할 경우, 평균 오율은 식(2)와 같고 이 수식으로 부터 유도된 결과가 그림 4에 잘 나타나 있다.

$$P_e = q \left\{ \left( \frac{K(1+0.547Kr)-1}{3N} + \frac{1}{2\pi b} \right)^{-1/2} \right\} \quad \text{식(2)}$$

한편 오율이 심한 순수 페이딩 채널환경하에서, 페이딩을 유발시키는 다중경로의 수가 L일 경우, 평균 오율식은 식 (3)과 같고, 그 결과가 그림 4에 도시되어 있다<sup>12)</sup>.

$$P_e = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \sum_{m=1}^L \binom{L}{m} \frac{(-1)^m}{\sqrt{1+m\mu}} \right\} \quad \text{식(3)}$$

$$\mu = \frac{2(L-1)}{3N} \left( \frac{3}{2} + K_i + \sum_{n=1}^N K(1+0.547Kr) \right) + \frac{L}{\pi b}$$

순수 페이딩 채널환경에서는 오율이 매우 심하게 나타나므로 오류제어 만으로는 이런 연접오류를 극복할 수 없다. 따라서 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서는 부호율이 1/3인 블럭 반복부호를 이용한 순방향 오류정정(forward error correction:FEC) 방식을 사용하고 있다<sup>6)</sup>. 이 방식은 1비트를 전송하기 위해 n번 반복 전송하는데 이 반복부호를 사용할 경우 식(4) 만큼의 오류정정 능력을 갖게 된다. 즉 n이 3일 경우 1비트의 오류 정정 능력을 갖게 된다<sup>13)</sup>.

$$e = \frac{1}{2} (n-1) \quad \text{식(4)}$$

따라서 일반 무선채널환경에서의 비트당 오율이 p 일 경우, 반복부호를 사용하여 개선된 에러율은 식

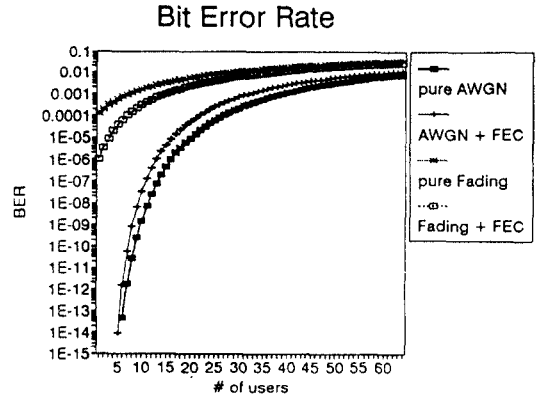


그림 4. 각 무선채널모델에 따른 가입자 수에 대한 BER  
Fig 4. BERs per the number of users according to each radio channel model

(5)과 같으며 그 결과는 그림 4에 잘 나타나 있다<sup>13)</sup>. 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서는 부호율이 1/3인 심볼 반복부호를 사용하고 있는데, 그림 4에서와 같이 반복부호를 사용할 경우 프로세싱이득은 1/3로 줄어들지만 반복부호를 사용하지 않고 프로세싱이득을 128로 유지한 경우 보다 페이딩 환경에서 채널오율이 더 향상되어 채널오율이 전체적으로 향상됨을 시뮬레이션 결과 알 수 있었다.

$$P = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} P^i (1-p)^{n-i} \quad \text{식(5)}$$

본 논문에서는 각 음성/데이터 집적서비스 방안의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하는데, 각 무선 채널 모델로 부터 수학적으로 분석된 가입자수에 대한 BER(bit error rate)은 데이터 패킷을 전송시 각 비트 단위로 0과 1사이의 균등변수와 비교되어 데이터 패킷의 오류여부를 판별하기 위해 사용된다. 또한 음성패킷인 경우, Eb/No 값이 6dB 이하로 떨어지면 비트당 에너지 전력밀도가 잡음의 전력밀도 보다 작아져 원 신호로의 복원이 불가능해지므로 블럭킹된다고 가정하였다.

##### 2. 가변속도 음성 트래픽 모델

CDMA 셀룰러 시스템의 용량은 음성부호화기의 최대 전송속도에 의해 결정되는 것이 아니라 음성부호화기의 평균전송속도에 의해 결정되므로 Qualcomm사의 협대역 CDMA 셀룰러 시스템에서는 CELP

(code excited linear prediction)를 기초로 한 입력 신호 에너지에 따라 전송속도를 변화시키는 QCELP(Qualcomm CELP)를 채택하여 시스템 용량을 두배 이상 증가시키고 있다. QCELP는 20ms 단위로 음성 에너지를 추출하여 에너지 세기에 따라 8kbps, 4kbps, 2kbps 및 800bps로 부호화한다.

그러나 일시적인 측정오류에 의한 유질 저하를 막기 위하여 8kbps에서 800bps로 전송속도가 전이하기 위해서는 항상 8kbps, 4kbps, 2kbps, 800bps의 전이 과정을 거친다. 이와 같은 전송속도 전이과정을 기했을 때의 각 전송속도별 점유확률은 표 1과 같다.

표 1. 전송속도별 점유확률

Table 1. Occupied probability per each transmission rate

전송속도	점유확률
8 kbps	0.291095
4 kbps	0.038820
2 kbps	0.072328
800 bps	0.597757

표 1에 근거하여 QCELP의 평균 전송속도를 계산하면 다음과 같다.

$$= 8\text{kbps} \cdot \text{Prob}[8\text{kbps}] + 4\text{kbps} \cdot \text{Prob}[4\text{kbps}] + 2\text{kbps} \cdot \text{Prob}[2\text{kbps}] + 800\text{bps} \cdot \text{Prob}[800\text{bps}] = 3226.453\text{bps}$$

따라서 CDMA 셀룰러 시스템에서는 8kbps 고정 전송속도를 갖는 음성 부호화기를 사용하는 것 보다 음성구간검출법에 의한 가변 전송속도 음성부호화기를 사용함으로써 용량이 2배 이상 증대됨을 알 수 있다.

### 3. 데이터 트래픽 모델

데이터 트래픽 모델은 각 데이터 단말기의 데이터 트래픽 도착시간이 상호 독립적이고 지수분포를 갖는 포아송 프로세스로 모델링된다. 평균 도착시간이 T일 경우 다음 데이터 패킷의 도착시간은 다음과 같다.

평균 도착시간이 T일때, interarrival time의 pdf는

$$P(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T} \text{이고,}$$

이 pdf의 cdf를 구하면

$$P[x \leq t] = 1 - e^{-t/T} \text{이고,}$$

이 식의 역함수를 구하면 다음의 식과 같이 다음 패킷의 도착시간을 구할 수 있다.

$$t = -T \ln(1-r)$$

(단 r은 0과 1사이의 균등분포를 갖는 랜덤변수)

본 논문에서는 데이터 트래픽의 평균도착시간을 임의형 트래픽채널의 한 프레임 주기인 20ms로 가정하였으며, 내화형 데이터 트래픽에 대해 고려하였으므로 실제 생성되는 데이터 트래픽량을 전구간을 5%~15%로 가정하였다.

### 4. 시뮬레이션 결과 고찰

본 논문에서는 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에서의 1단계 음성/데이터 짐작 알고리즘과 2단계 음성/데이터 짐작 알고리즘 및 PR-CDMA 음성/데이터 짐작 알고리즘의 성능을 페이딩 채널에서 부호율이 1/3인 반복부호를 이용하여 에러율을 향상시킨 페이딩 무선채널 모델에 따라 데이터 트래픽의 처리율, 평균 지연시간, 음성 트래픽의 처리율 및 음성트래픽의 블리킹을 측면에서 비교분석 하였다. 데이터 트래픽과 음성트래픽의 처리율은 현재 셀내에 존재하는 서비스 요구자수의 비로서 나타내었고, 데이터 트래픽의 지연시간은 현재 셀내의 존재하는 각 이동 데이터 단말기에 의해 발생된 데이터 패킷이 FIFO큐에 지연된 후 서비스될 때까지의 총지연시간을 시뮬레이션 횟수로 나눈 후 그 각 단말기의 지연시간을 평균한 값으로 가정하였으며, 음성 트래픽의 블리킹율은 채널오류이나 한계지연으로 인해 블리킹된 총 음성패킷의 수를 총 시뮬레이션 시간동안 각 음성 단말기들에 의해서 발생된 총 음성 패킷의 수로 나눈 값으로 가정하였다.

시뮬레이션 결과, 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 1단계 전용단말기를 이용한 음성/데이터 짐작서비스 방안을 적용한 경우, 한 음성 혹은 데이터 전용단말기가 CDMA의 한 건물 분리채널을 할당받아 서비스되므로 CDMA의 건물채널갯수가 64개로 한정된다는 CDMA의 고정분리채널 한계로 인해 동시에 각각 320명 이상의 음성 단말기와 데이터 단말기를 서비스할 수 없음을 알 수 있었다. 또한, 광대역 CDMA 셀

룰러 시스템에 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 한 음성/데이터 집적단말기가 하나의 공통채널을 할당받아 음성 트래픽과 데이터 트래픽을 집적하여 서비스함으로써 채널이용율을 보다 향상시킬 수 있어 1단계 음성/데이터 집적 방안을 적용한 경우 보다 더 많은 가입자를 서비스할 수 있었다. 그러나 데이터 트래픽의 burstiness 특성 때문에 오류가 발생하는 패킷들이 다발적으로 발생하게 되어 동시에 각각 360명 이상의 데이터 단말기와 음성 단말기를 서비스할 수 없었고, 집적단말기를 구현해야 하기 때문에 복잡도를 증가시켰다. 반면, PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안의 경우, 음성 단말기와 데이터 단말기가 전 논리채널의 타임슬롯에 균등하게 분산되어 경쟁함으로써 채널간의 간섭을 줄일 수 있어 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에서 보다 더 많은 가입자를 서비스할 수 있었고, 전용 단말기를 이용하여 서비스할 수 있으므로 집적단말기를 개발해야 하는 복잡도도 또한 감소시킬 수 있었다.

데이터 트래픽 처리율에 대해서는 그림 5에 잘 나타나 있는데, PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안이 광대역 CDMA 셀룰러 시스템용 1,2단계 음성/데이터 집적서비스 방안 보다 우수한 성능을 나타내고 있다. 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 1단계

음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, CDMA의 고정 논리채널 갯수의 한계로 인해 320명까지의 데이터 단말기와 320명까지의 음성 단말기만을 동시에 서비스할 수 있었고 그 이상의 단말기는 호 단계 블럭킹으로 인해 서비스될 수 없음을 알 수 있었다. 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우 동시에 각각 약 360명의 이동 데이터 단말기 사용자와 약 360명의 이동 음성 단말기 사용자를 원활히 서비스할 수 있었고, PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우 동시에 각각 약 440명까지의 이동 데이터 단말기 사용자와 이동 음성 단말기 사용자를 원활히 서비스할 수 있었다. 이와 같은 결과는 광대역 CDMA 셀룰러 시스템의 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안에서는 한 음성/데이터 집적단말기가 하나의 CDMA 논리 트래픽 채널을 할당받아 TASI 기법으로 서비스하는 반면, PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안에서는 다수의 음성 혹은 데이터 전용단말기가 임의의 하나의 논리 채널을 할당받아 PRMA 기법으로 경쟁함으로써 대화형 데이터 트래픽과 음성 트래픽의 통계적 특성을 보다 효율적으로 활용하여 채널이용율을 극대화하였기 때문이다.

데이터 트래픽의 평균지연시간에 대해서는 그림 6에 잘 나타나 있는데, 데이터 트래픽의 처리율과 마찬가지로 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안이 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 1,2 단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용한 경우 보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 1단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 데이터 지연시간은 없는 것을 알 수 있었으며, 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 각각 약 360명 이상의 이동 데이터 단말기와 360명 이상의 이동 음성 단말기가 동시에 서비스될 경우 채널 오율이 10<sup>-2</sup>을 초과하게 되어 프레임 오율이 급증하게 되고 지연시간이 지수적으로 증가함을 알 수 있었다. 반면 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 음성 단말기와 데이터 단말기가 전 논리채널의 타임슬롯에 균등하게 분산되어 경쟁하므로 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에서 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용한 경우에 비해 각 채널간의 간섭이 다소 줄어들며 각 채널간의 간섭으로 부터 발생하는 무선채널 오율이 작아지게 되어 그림 6에서와 같이 데이터 트래픽의 평균지연시간이 줄어들게 되고 데이터 트래픽의 처리율

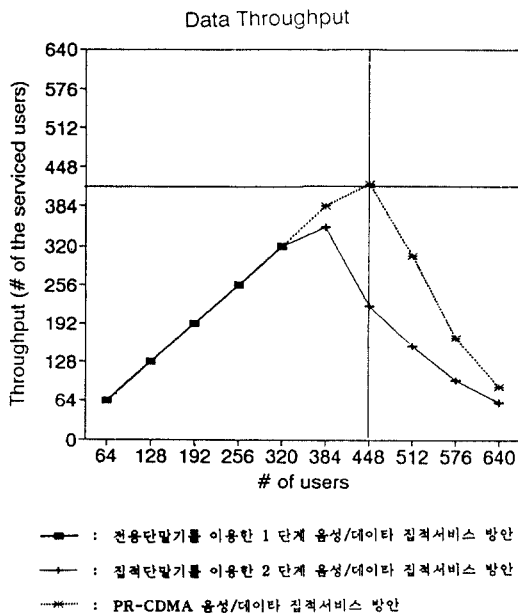


그림 5. 데이터 트래픽의 처리율  
Fig 5. The throughput of data traffic



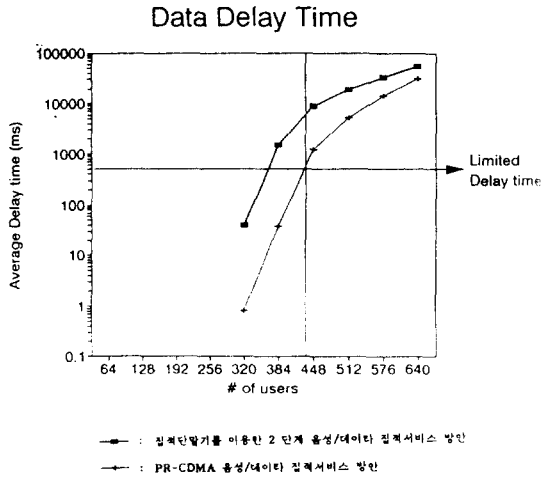


그림 6. 데이터 트래픽의 평균 지연시간  
Fig 6. The average delay time of data traffic

이 향상됨을 알 수 있었다.

음성 트래픽의 처리율에 대해서는 그림 7에 잘 나타나 있다. 음성 트래픽의 처리율 역시 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안이 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 1,2단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용한 경우 보다 우수한 성능을 보이고 있다. 데이터 트래픽의 처리율과 마찬가지로 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에 1단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 320명까지의 음성 단말기만을 서비스할 수 있음을 알 수 있었고, 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 동시에 서비스되는 음성과 데이터 단말기가 각각 440명 이상 증가하게 되면 논리 채널간의 간섭으로 인해 Eb/No가 6dB 즉 BER이  $10^{-2}$  이하로 떨어져 음성의 원 신호로의 복원이 불가능하게 되기 때문에 음성트래픽의 서비스가 불가능한 상황에 도달함을 알 수 있었다. 반면, PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안을 적용할 경우, 앞의 데이터 처리율과 지연시간의 성능 향상과 동일한 이유로 인해 동시에 440명 이상의 음성 단말기와 440명 이상의 데이터 단말기를 원활히 서비스할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 그림 8에서와 같이 음성 트래픽의 블로킹 측면에서도 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안이 광대역 CDMA 셀룰러 시스템의 2단계 음성/데이터 집적서비스 방안 보다 월등한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

따라서 이 모든 결과를 종합해 볼때, CDMA의 임의의 한 논리채널을 여러 단말기가 한당받아 PRMA

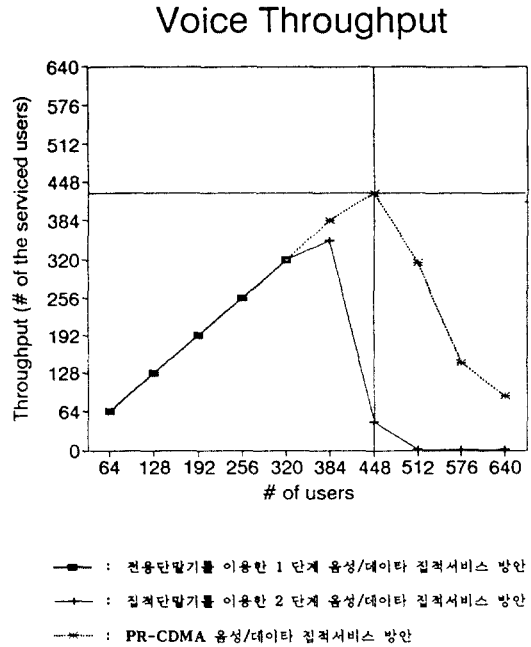


그림 7. 음성 트래픽의 처리율  
Fig 7. The throughput of voice traffic

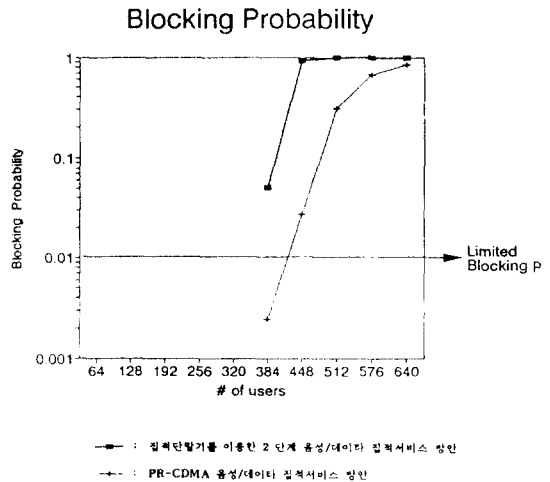


그림 8. 음성 트래픽의 블로킹율  
Fig 8. The blocking probability of voice traffic

방식으로 경쟁하는 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안이 전용단말기나 집적 단말기를 이용한 광대역 CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안 보다 월등한 성능을 보임을 알 수 있었으며, 전용단말기를 이용하여 서비스할 수 있으므로 단말기의 복잡도도 역시 집적단말기를 이용하여 서비스하는 광대역 CDMA 셀룰러 시스템 보다 훨씬 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### V. 결 론

본 논문에서는 광대역 CDMA 셀룰러 시스템에서의 음성/데이터 집적 서비스 방안으로서 음성 혹은 데이터 전용 단말기를 이용하여 음성과 데이터를 집적 서비스할 수 있는 초기단계의 1단계 음성/데이터 집적 서비스 방안과 보다 진보된 음성/데이터 집적 단말기를 이용하여 한 트래픽 채널을 TASI 기법으로 공유하는 2단계 음성/데이터 집적 서비스 방안을 도출하였고, CDMA 방식의 단점인 채널이용률의 저하를 극복하기 위해 경쟁방식 중 음성/데이터 집적 환경에 우수한 성능을 나타내는 PRMA 방식과 CDMA 방식을 혼합한 PR-CDMA 방식을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 각 집적 서비스 방안의 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 집적 단말기를 사용하고 한 채널을 할당받아 TASI 기법으로 음성과 데이터를 동시에 서비스하는 2단계 음성/데이터 집적 서비스 방안이 전용단말기를 사용하고 각 단말기마다 전용채널을 할당받아 음성 혹은 데이터 트래픽만을 서비스하는 1단계 음성/데이터 집적 서비스 방안 보다 통계적 이득 때문에 더 많은 가입자를 서비스할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 이 2단계 집적 방안을 적용하더라도 CDMA의 한 논리채널을 여러 단말기가 할당받아 PRMA 기법으로 경쟁하는 PR-CDMA 음성/데이터 집적서비스 방안이 CDMA 방식의 단점인 고정채널갯수의 한계와 채널이용률의 저하를 극복할 수 있어 2단계 집적방안을 적용한 광대역 CDMA 셀룰러 시스템 보다 모든면에서 우수한 성능을 나타내었으며, 전용단말기를 이용하여 서비스할 수 있으므로 단말기의 복잡도도 역시 집적단말기를 이용하여 서비스하는 광대역 CDMA 셀룰러시스템 보다 훨씬 감소시킬 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 여상규, "CDMA 디지털 셀룰러 시스템의 개요", Telecomm. Review, Vol.2, no.3, pp.18-35, 1992.
2. Robert A. Schottz et al., "The Spread Spectrum Concept", IEEE Trans. Commun., Vol. COM 25, no.8 pp.748-755, Aug. 1977.
3. Raymodn L. Pickholtz et al., "Theory of Spread Spectrum Communications-A Tutorial", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-30, no.5 pp.855-884, May 1982.
4. 노종선, "디지털 셀룰러 시스템의 요소기술", 한국통신학회지 제9권 제12호 page 1992년 2월.
5. "The CDMA Network Engineering Handbook", Qualcomm Inc., Vol.1, Nov. 1992
6. TR-45, "Ditital Cellular System CDMA-Analog Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard", Feb., 1993,
7. 조동호 외, "CDMA 방식을 이용한 데이터 서비스 프로토콜에 관한 연구", 한국 전자통신연구소 위탁연구과제 최종보고서, 1993년 7월,
8. 강군호, 조동호, "셀룰러 패킷 라디오망용 음성/데이터집적 다중액세스 프로토콜의 성능분석에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제18권, 제9호, pp.1304-1314, 1993년 9월.
9. 김태규, 조동호, "최소 예약슬롯 보증 음성/데이터 집적 PRMA 프로토콜에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제18권, 제2호, pp. 1304-1314, 1993년 9월.
10. David J. Goodman, "Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems", IEEE Trans. Vehic., Vol.40, no.3, pp. 584-598, Aug. 1991
11. Hong Y. Chung et al., "Transmission of Speech and Data Using Packet Reservation Multiple Accsee", ICC, pp.3.5.1-3.5.6, June 1991.
12. 안병양, 박상규, "셀룰러 DS/CDMA 시스템의 성능분석", JCCI '93, Vol. 3, pp.214-219, 1993년 4월.
13. Ziemer, Rodger E., "Digital Communications and Spread Spectrum Systems", Macmillan Publishing Company, pp.1-42, 1985.

姜 君 和(Gun Hwa Kang)

정회원

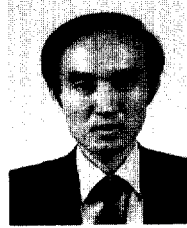
1967년 10월 23일생

1992년 2월 : 경희대학교 전자계산공학과 졸업(공학사)

1994년 2월 : 경희대학교 전자계산공학과 대학원 석사과정  
졸업(공학석사)

1994년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 이동통신기술 연  
구단 연구원

※주관심분야 : 이동데이터통신, 멀티미디어통신, B-ISDN



趙 東 浩(Dong Ho Cho) 정회원

1956년 4월 3일생

1979년 2월 : 서울대학교 공과대학  
전자공학과 졸업(공학  
사)

1981년 2월 : 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 대학원  
석사과정 졸업(공학석  
사)

1985년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 대학원  
박사과정 졸업(공학박사)

1985년 3월 ~ 1987년 2월 : 한국과학기술원 통신공학연구실  
선임연구원

1987년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자계산공학과 부교수

1989년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자계산소장

※주관심분야 : B-ISDN, MAN, 이동데이터통신, 멀티미  
디어통신