

# 음성 및 데이터서비스를 위한 무선접속시스템에서 CDMA와 TDMA방식의 성능비교

정희원 고종하\*, 양영님\*\*, 이정규\*

## Performance Comparison of CDMA and TDMA protocols in radio access system for Integrated Voice/Data Services

Jong-Ha Ko\*, Yong-Nim Yang\*\*, Jong-Kyu Lee\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 음성 및 데이터서비스를 위한 무선접속시스템에서 D-TDMA(Dynamic-Time Division Multiple Access)와 CDMA(Code Division Multiple Access) 프로토콜의 성능을 비교 분석하였다.

D-TDMA 프로토콜에서 음성서비스는 'circuit mode'로 채널 사용 우선권을 부여하고 데이터서비스는 FCFS(First Come First Service) 형태의 동적 채널 할당 방식을 사용하였다. CDMA 프로토콜에서는 내부 셀과 외부 셀에 존재하는 다른 이동가입자들의 간섭잡음을 줄이기 위하여 음성검출 기법을 사용하고, 이 경우의 간섭잡음전력을 분석하였다. 또한, 이 간섭잡음전력을 이용하여 실제 데이터의 BER(Bit Error Rate)을 구하고, 평균 데이터 길이와 평균 데이터 발생률의 변화에 따른 음성차단확률(음성패킷손실확률) 및 데이터전송 지연시간을 비교 분석하였다.

분석결과에 따르면 평균 데이터 길이가 짧을 경우, 데이터 발생률의 증감에 독립적으로 CDMA 프로토콜이 상대적으로 우수한 성능을 보였다. 그러나, 평균 데이터 길이가 길어질수록 데이터 전송 지연시간이 큰 폭으로 증가하는 CDMA 프로토콜보다 D-TDMA 프로토콜이 더 우수한 성능을 보였다.

### ABSTRACT

In this paper, we have compared the performances of a D-TDMA protocol with that of a CDMA protocol, in radio access system for integrated voice/data services.

The D-TDMA protocol is based on a generic dynamic channel assignment approach to be followed a combination of "circuit mode" reservation for voice calls, along with dynamic first-come-first served assignment of remaining capacity for data messages. In the CDMA protocol, we have used the voice activity detection to reduce the interference power of other mobiles in internal and external cells, and analyzed the interference power ratio. Also we have computed BER(Bit Error Rate) by using this interference power ratio and evaluated voice blocking probability(voice packet loss probability) and data transmission delay, according to average data length and average data arrival rate.

We have found that the CDMA protocol achieves comparatively higher performance for short data length, regardless of data arrival rate. Otherwise, the data transmission delay of D-TDMA protocol is shorter than that of the CDMA protocol for long data message.

### I. 서론

현대 사회의 급격한 정보화 추세에 따라 정보 전

\* 한양대학교 전산과(jhko@cse.hanyang.ac.kr)

\*\* LG정보통신 통신 운영연구소(ynyang@lgic.co.kr)

논문번호 : 98298-0715, 접수일자 : 1998년 7월 15일

달을 위주로 하는 정보통신 분야는 두 방향으로 나누어서 발전하고 있다. 첫째는 광 통신망(optical fiber network)을 이용한 초고속 통신망의 구축과 둘째는 이동 무선 통신화이다<sup>1)</sup>. 특히 이동 통신 분야는 고객의 다양한 서비스 욕구를 충족시키며 언제, 어디서나 통신이 가능하고 음성, 데이터, 화상 등의 여러 형태의 정보를 통합하여 서비스할 수 있는 미래의 차세대 개인휴대통신 서비스에 대한 연구를 하고있다<sup>2), 3)</sup>.

최근 이동통신 서비스에 대한 수요의 급증으로 시스템 용량의 부족하여 이 분야 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 시스템의 용량을 증가시키고 음성 및 데이터의 서비스를 제공할 수 있는 TDMA(Time Division Multiple Access)와 CDMA(Code Division Multiple Access) 프로토콜에 대한 연구를 각 나라의 현실과 특성에 맞게 활발히 연구 중에 있다<sup>4-8)</sup>.

TDMA 프로토콜은 하나의 무선 채널을 여러 사용자가 공유하며 채널 시간축을 여러 개의 시간슬롯으로 나누어 여러 사용자가 자기에게 할당된 시간슬롯을 다른 사용자의 시간슬롯과 겹치지 않도록 사용하는 전송방식이다<sup>7), 8)</sup>. CDMA 프로토콜은 대역확산 통신기법을 이용하여 다수의 이동통신 가입자가 동일 무선 채널을 공유하면서 동시에 송수신이 가능한 디지털 이동통신 방식이다<sup>9), 10)</sup>. TDMA 프로토콜은 CDMA 프로토콜보다 먼저 제안되어 개발 진척도가 빠르며, 표준으로 유럽의 GSM(Group Special Mobile)과 일본의 JDC(Japan Digital Cellular)를 대표로 하여 세계적으로 광범위한 지지를 얻고 있으며, CDMA 프로토콜은 미국의 켈컴사에 의해 제안되어 개발하고 있으며, 용량이 타 방식보다 뛰어나며 페이딩 환경, 간섭환경에서 우수하고, 정보의 비화가 가능한 장점이 있다. 이러한 디지털 전송방식을 사용하여 급속히 증가하는 이동 무선 가입자수들에게 음성, 데이터, 화상과 같은 다양한 형태의 정보를 통합하여 서비스할 수 있는 차세대 개인휴대통신 서비스를 지원하는 디지털 무선 접속 방식의 사용이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 제한된 주파수 범위에서 무선 채널의 용량을 최대화하여 여러 명의 사용자가 채널을 공유하도록 하며 음성, 데이터 등의 다양한 형태의 정보를 종합적으로 처리하여 서비스를 제공할 수 있는 TDMA 프로토콜과 CDMA 프로토콜 방식의 성능을 비교하였다. 음성과 데이터 공용 서비스를 위해 TDMA 프로토콜에서는 시간지연에

민감한 음성서비스 제공에 채널 사용의 우선권을 부여하는 동적채널할당 방식<sup>11)</sup>을 사용하고 CDMA 프로토콜에서는 음성서비스시 음성검출 기법을 사용하여 다른 사용자에게 미치는 간섭잡음전력을 줄여 시스템의 성능 향상을 도모하였다. 그리고 이 간섭잡음전력을 수학적으로 분석하고, 잡음 전력을 이용한 실제 데이터 전송시 BER를 분석하였다. 음성차단확률(음성패킷손실확률), 데이터 전송 지연시간의 성능 지표로 두 시스템을 비교하였고 현재 음성서비스 중심의 무선접속시스템으로부터 파일전송, 멀티미디어 데이터 전송 등의 다양한 형태의 데이터 서비스 요구 증가를 고려하여 평균 데이터 길이와 평균 데이터 발생률의 변화에 따른 각 시스템의 성능 변화를 비교 분석하였다.

본 논문의 전개는 다음과 같다. 제 II장에서는 무선접속시스템에서 음성, 데이터 공용 서비스를 제공할 수 있는 다중 접속 방식으로 TDMA 프로토콜과 CDMA 프로토콜을 먼저 설명하고, 제 III장에서는 시스템을 모델링한후 두 프로토콜을 비교하기 위한 성능 지표를 설정하고 음성검출 기법을 이용한 CDMA 시스템의 간섭잡음전력을 분석하였다. 제 IV장에서는 여러 성능 지표를 기준으로 두 방식의 성능을 비교 분석하고 마지막으로 제 V장에서 결론을 맺었다.

## II. 음성 및 데이터서비스를 제공하는 다중 접속 방식

### 1. D-TDMA 프로토콜

TDMA 프로토콜은 무선 주파수를 시분할하여 통신자에게 특정한 시간대를 할당하여 그 할당된 시간대에 따라 통신하는 방식으로 위성통신 분야에서 주로 사용되어 왔으나 최근에는 디지털 신호처리 기술 발전에 힘입어 지상의 가입자들을 위한 다중 접속 방식에도 사용되고 있으며, 더욱이 이동통신 분야에서 광범위하게 적용되고 있다. TDMA 프로토콜의 통신 채널 할당 방식은 크게 미리 채널 사용 시간을 할당하는 사전할당방식과 채널 사용 요구에 응해서 채널을 할당하는 요구할당방식으로 크게 나눌 수가 있다. 이동통신 분야와 같이 사용 주파수는 한정되어 있고 사용자수는 계속적으로 증가하는 경우에는 요구할당방식을 적용하는 것이 필수적이다<sup>12)</sup>.

데이터에 비하여 음성은 시간 지연에 약한 반면에 오류에는 강한 특징을 지니고 있고 데이터의 경

우는 반대로 시간 지연에는 강하지만 오류에는 약한 특징을 가지고 있다. 무선접속시스템에서는 이렇게 성격이 다른 다양한 형태의 정보를 처리해야 하므로 기존의 핵심적인 전송 기술을 유지하면서 프로토콜에 변화를 주어 더욱 효율적으로 정보를 전송할 수 있는 프로토콜이 필요하게 된다. 특히, 음성 경우, 재전송이 불가능하므로 TDMA 방식에서는 시간슬롯을 최대전송지연시간내에 할당받지 못하면 음성차단이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 시간축을 나누어 사용자에게 일정 시간슬롯을 지정할 때 데이터에 비하여 음성서비스를 원하는 사용자에게 채널 사용의 우선권을 주는 D-TDMA 프로토콜을 사용하였다.

D-TDMA 프로토콜은 WLAN(Wireless Local Area Network)과 위성 통신을 위해 제안된 프로토콜로 기존의 TDMA 프로토콜 방식과 같이 채널에 대한 시간축을 일정 길이의 TDMA 프레임으로 나누어 여러 사용자가 채널을 공유할 수 있도록 하는 프로토콜이며 채널 사용권을 시간 지연에 민감한 음성서비스에게 우선권을 부여하여 음성 및 데이터 공유 서비스가 가능한 프로토콜이다. 또한 D-TDMA 프로토콜은 랜덤접속방식중에서 slotted ALOHA 방식과 TDMA 프로토콜의 혼합적인 형태를 띠고 있다. 채널 사용을 예약하는 방식은 요구슬롯을 사용한 slotted ALOHA 방식을 따르고 실제 서비스중 음성서비스 사용자를 위해 "circuit mode" 서비스를 제공하고 데이터서비스 사용자를 위해 FCFS 형태의 서비스를 제공하며 채널 사용 시간은 동적으로 이루어진다.

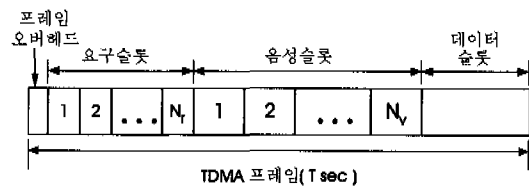


그림 1. TDMA 프레임 구조

다음은 동적 채널 할당 방식인 D-TDMA 프로토콜을 설명한다.

- 시간축을 일정 길이의 TDMA 프레임으로 나누고 이 프레임을 다시 채널 사용을 요구하는 요구슬롯 N<sub>r</sub>개, 음성서비스 사용자를 위하여 예약 서비스를 할 수 있는 음성슬롯 N<sub>v</sub>개, 데이터서비스를 할 수 있는 데이터슬롯으로 나눈다.

- 음성과 데이터서비스를 원하는 사용자는 랜덤하게 선택한 요구슬롯에서 요구패킷을 전송하여 채널 사용을 요구하고 기지국으로부터 채널을 사용할 수 있는 권한을 부여하는 Ack을 전송 받으면 실질적인 전송을 준비한다.
- 음성서비스 사용자는 음성슬롯들중에 하나를 예약하고 그 음성슬롯을 TDMA 매 프레임마다 서비스가 끝날 때까지 사용하게 된다.
- 데이터서비스를 원하는 사용자는 채널 사용의 허가를 받으면 서비스큐에 들어가 FCFS 형태로 비어 있는 음성슬롯과 데이터슬롯동안 서비스를 받는다.
- 음성서비스의 경우, 요구슬롯동안 전송한 요구패킷에 대한 Ack을 받지 못하면 현 TDMA 프레임까지 기다린 후에 다음의 TDMA 프레임의 요구슬롯동안 요구패킷을 다시 재전송한다.
- Wmax라는 최대전송지연시간까지 전송한 요구패킷에 대한 Ack을 받지 못한 경우는 음성차단이 발생한다.
- 데이터서비스의 경우, 요구슬롯동안 전송한 요구패킷에 대한 Ack을 받지 못하면 랜덤 시간을 기다린 후에 TDMA 프레임의 요구슬롯을 선택하여 요구패킷을 재전송한다.

## 2. CDMA 프로토콜

CDMA 프로토콜은 확산대역 시스템 기술에 기초를 둔 다중접속 방식으로 확산대역 다중접속인 SSMA(Spread Spectrum Multiple Access) 프로토콜이라 불리기도 한다. 확산대역 시스템은 PN(Pseudo random Noise) 코드에 의하여 전송신호의 주파수 대역폭을 전송하고자 하는 데이터 신호의 주파수 대역폭보다 훨씬 넓게 확산하여 낮은 전력으로 데이터를 전송하고 백색 잡음인 AWGN(Adaptive White Gaussian Noise) 수준의 낮은 전력으로 수신된 확산 데이터 신호는 수신측에서 갈 데이터 전력으로 복원하게 된다<sup>[12]</sup>. CDMA 프로토콜은 이러한 기술에 기초를 두고 각각의 사용자들에게 고유의 PN 코드를 할당하여 넓은 주파수 대역을 동시에 여러 사용자가 공동으로 사용한다. CDMA 프로토콜을 사용하는 시스템은 전송 데이터가 쉽게 노출되지 않아 다른 다중접속 방식을 사용하는 경우보다 높은 보안성을 가지며 수신기에서 역확산 과정은 다른 간섭 잡음들을 확산하여 전력을 낮추므로 다중 경로를 거쳐 수신된 페이딩 신호와 간섭에 강한 특징이 있다<sup>[13-15]</sup>.

CDMA 프로토콜을 사용하는 무선접속 시스템은

효율적인 스펙트럼의 사용과 시스템의 용량을 증가시킬 수 있는 기술 도입이 필요하다. 이러한 기술로 음성검출을 고려할 수가 있다. 실제 우리가 사용하고 있는 전화통화 상태를 분석하여 통화상태를 온오프패턴(on-off pattern)으로 모델링하면 개인의 통화시간 중에 대화(talk) 시간은 3/8을 차지하고 5/8는 휴지(pause) 시간이 차지하고 있다. CDMA 방식에서는 이동가입자가 사용하는 전력의 증감에 따라 다른 이동가입자에게 미치는 잡음의 전력의 크기가 결정되므로 음성 신호를 전송하지 않는 휴지 시간 동안에는 전송 전력을 낮추는 것이 시스템의 용량을 증가시킬 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 CDMA 프로토콜에서 음성검출을 사용하여 통화 중에 휴지시간동안 전송 전력을 반으로 낮추어 다른 이동가입자에게 간섭잡음전력을 감소시키도록 하였고 음성검출을 사용하였을 경우의 간섭잡음전력을 수학적으로 분석하여 시스템의 BER 분석에 이용하였다<sup>[8,16-19]</sup>.

다음은 음성 및 데이터서비스를 위한 CDMA 방식을 설명하였다.

- 음성 및 데이터의 모든 정보를 일정 길이의 packet으로 나눈다.
- PN code를 가지고 전송할 정보가 있을 때마다 정보를 전송한다.
- 음성서비스 경우는 duty cycle(voice coding rate/channel speed)에 따라 주기적으로 패킷화 된 음성을 전송한다.
- 음성서비스의 경우는 재전송이 불가능하므로 다른 이동가입자의 간섭잡음으로 패킷손실이 발생하게 된다.
- 데이터서비스는 Ack을 받을 때까지 데이터 패킷을 재전송한다.

### III. 시스템 모델링 및 성능 분석

#### 1. 시스템 모델링

시스템 시뮬레이션을 위해 시스템 주파수는 875 KHz로 가정하고 시뮬레이션 전용언어인 SIMSCRIPT II.5로 사용하였다.

D-TDMA의 경우는 여러 셀들이 같은 주파수 대역을 공유하며 각 셀내에서 채널의 시간축을 나누어 각 사용자들이 할당받은 시간대에서 채널을 사용하게 된다.

따라서 D-TDMA 프로토콜에서는 기본적으로 셀들간에 주파수조정이 필요하게 된다. 셀들간의 주파

수조정을 통하여 인접 셀들의 집합인 cluster를 형성하고 이 cluster라는 인접 셀들의 집합을 기준으로 하나의 cluster에서 전체 시스템 주파수를 나누어 인접한 셀들간에 다른 주파수 대역을 사용하게 되고 다른 cluster에 있는 셀들은 같은 방법으로 전체 시스템의 주파수를 나누어 사용하므로 주파수 재사용을 추구한다. 본 논문에서는 가장 일반적인 주파수조정으로 하나의 cluster를 7개의 셀들의 집합으로 하여 즉, 셀 재사용 factor를 7를 사용하여 전체 시스템 주파수 대역을 7로 나누어 각 셀은 125KHz를 사용하게 된다. 반면에, CDMA 프로토콜에서는 시간과 주파수를 모든 사용자들이 공유하므로 전체 시스템 주파수 대역인 875KHz 대역을 모두 사용하였다<sup>[8]</sup>.

전체 이동가입자는 음성서비스와 데이터서비스 사용자로 나누고 각각 같은 수의 이동가입자를 고려하였다. 음성서비스 사용자의 음성서비스 발생률은  $\lambda_v$ (calls/s/user)이고 각 음성서비스 요구 사이의 시간은 지수분포를 따른다고 가정하였다. 데이터서비스 사용자의 경우도  $\lambda_d$ (message/s/user)의 발생률을 가지며 데이터서비스 요구 사이의 시간은 지수분포를 따르고, 각각의 서비스 시간도 지수분포를 따른다고 가정하였다.

표 1. D-TDMA 시스템 파라미터

Parameter	Symbol	Value
음성 도착률 (calls/s/user)	$\lambda_v$	0.0005
데이터 도착률 (msg/s/user)	$\lambda_d$	0.0001, 0.001
평균 음성서비스 시간 (min)	$T_c$	3
평균 데이터 길이 (kbits)	M	1, 5, 8
음성서비스 최대지연시간(s)	$W_{max}$	10
평균 데이터 요구패킷 재전송 지연시간(s)	$T_{drx}$	0.04
TDMA 프레임 요구슬롯 수	$N_r$	20
TDMA 프레임 최대 음성슬롯 수	$N_v$	15, 17, 19
전송속도	$S_p$	200 (kbit/s)

표 1은 D-TDMA에서 사용된 시뮬레이션 모델 파라미터들이다. D-TDMA 프로토콜에서 시스템의 성능에 크게 영향을 미치는 파라미터로는 음성슬롯의 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 음성슬롯의 수를 15, 20, 25로 나누어 시뮬레이션을 수행하고 기존의 음성 중심의 무선접속시스템에서 paging, e-mail등의 다양한 데이터서비스 요구의 증가를 고려하여 평균 데이터 발생률을 0.0001msg/sec과 음성 발생률보다 큰 값을 가지는 0.001msg/sec를 고려하여 평균 데이터 길이를 1kbits, 5kbits, 8kbits로 나누어 D-TDMA 시스템의 평균 데이터 발생률과 평균 데이터 길이에 따른 변화를 분석하였다.

표 2. CDMA 시스템 파라미터

Parameter	Symbol	Value
음성도착률 (calls/s/user)	$\lambda_v$	0.0005
데이터 도착률 (msg/s/user)	$\lambda_d$	0.0001 0.001
평균 음성서비스 시간 (min)	$T_c$	3
평균 데이터 길이 (kbits)	$M$	1.5, 8
평균 데이터 재전송 지연시간 (s)	$T_r$	0.5
CDMA 패킷 길이(bits)	$L$	256
Spreading Factor	$S_f$	64
전송속도	$S_p$	20 (kbits/s)

표 2는 CDMA 프로토콜을 사용하는 무선접속 시스템에서 사용된 시뮬레이션 모델의 파라미터들이다.

CDMA 프로토콜에서는 PN 코드를 사용하여 데이터를 실제 주파수 대역보다 확산하여 전송하게 되므로 본 논문에서는 가장 일반적으로 많이 사용되는 PN 코드의 확산요소를 64로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 따라서 실제 데이터 전송속도는 200(kbits/s)인 D-TDMA 프로토콜에 대하여 더 넓은 주파수 대역폭을 사용하지만 (200×7)/64, 즉 20(kbits/s)의 전송속도로 실제 데이터를 전송하게 된다.

CDMA 프로토콜에서는 음성서비스에 대하여 가

장 일반적으로 많이 사용되는 0.5의 음성검출요소 (voice activity factor)  $\alpha$ 의 값을 가정하여 음성서비스에서 음성검출을 사용하여 간섭잡음전력을 감소시키도록 하였다.

## 2. 성능 비교 지표

D-TDMA와 CDMA 프로토콜에 대한 서로 다른 형태의 프로토콜의 성능 비교 분석을 위해서는 성능 비교 지표가 필요하며, 무선접속시스템에서는 제한된 주파수를 이용하여 음성과 데이터서비스를 제공하기 때문에 시스템의 성능 지표로 우리는 여러 가지를 고려할 수 있다.

음성서비스의 경우는 재전송이 불가능하므로 D-TDMA 방식에서는 요구슬롯을 최대전송지연시간 ( $W_{max}$ )내에 할당받지 못하면 음성차단이 발생하게 된다. CDMA의 경우는 채널의 상태가 좋지 못하거나 너무 많은 다른 사용자가 동시에 하나의 무선 채널을 공유하면 수신한 음성서비스 정보에 오류가 너무 커서 올바른 수신이 불가능하여 음성손실 (voice packet loss)로 고려할 수가 있다. 따라서 두 시스템의 성능 비교 지표 중에 하나로 D-TDMA 프로토콜은 음성차단확률을 CDMA 프로토콜의 경우는 음성손실확률을 고려하였다. 그리고 D-TDMA 프로토콜에서는 음성서비스 정보가 차단되지 않은 경우는 음성서비스를 요구한 후부터 서비스를 받기 까지 평균 음성역세스시간도 시스템의 성능 분석을 위한 지표로 결정하였다. 그러나 CDMA의 경우는 통신 채널을 시간과 주파수에 대하여 모든 사용자들이 공유하고 있기 때문에 음성서비스를 원하는 사용자는 지연 시간 없이 정보를 전송하고 제대로 수신되지 않은 경우는 음성손실이 발생할 뿐이므로 성능 분석 지표로 음성역세스시간을 고려할 수가 없다.

데이터서비스의 경우는 데이터에 오류가 발생하면 재전송이 가능하므로 데이터 전송 시도로부터 실제 전송을 성공하기까지의 시간인 데이터 전송 지연시간을 시스템 성능 지표로 사용할 수가 있다. 따라서 D-TDMA와 CDMA 프로토콜 시스템에서 데이터서비스에 대한 성능 비교 지표로 모두 데이터 전송 지연시간을 선택하였다.

## 3. CDMA 프로토콜에서 간섭잡음전력 분석

CDMA 프로토콜에서는 여러 사용자가 채널 사용을 공유하기 때문에 다른 이동가입자들의 간섭잡음 전력은 음성 및 데이터 품질에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 절에서는 무선접속 시스템에서 음성 및

데이터를 서비스할 때 다른 이동가입자들의 간섭잡음전력과 이 간섭잡음전력을 이용하여 BER을 분석하였다.

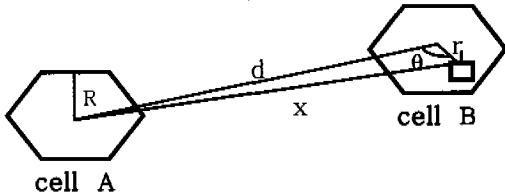


그림 2. 두개의 셀로 구성된 CDMA system

먼저, 그림 2와 같은 두개의 셀 A와 셀 B로 구성된 간단한 CDMA 프로토콜 시스템에 대한 외부 셀의 간섭잡음전력을 분석하였다. 이때 셀 B에 있는 다른 이동가입자들로부터 셀 A의 기지국이 수신하게 되는 외부 셀의 간섭잡음전력을 고려하였고 여러 파라미터에 대한 정의는 다음과 같다.

- R : 정육각형 셀의 반경
- d : 셀 A의 기지국에서 셀 B의 기지국까지 거리
- x : 셀 B에 임의의 이동가입자에서 셀 A의 기지국까지의 거리
- r : 셀 B에 있는 임의의 이동가입자와 기지국까지의 거리
- $\theta$  : 셀 B의 기지국을 중심으로 셀 A의 기지국과 셀 B에 있는 임의의 이동가입자가 이루는 각의 크기

반경 R인 정육각형 셀내에 음성과 데이터서비스 사용자의 평균이 각각  $N_1$ ,  $N_2$ 명으로 균일 분포할 경우 각각 음성 및 데이터서비스를 원하는 이동가입자 밀도  $\rho_1$ 과  $\rho_2$ 는 셀 면적에 대한 평균 이동가입자의 비로 쉽게 구할 수가 있다.

$$\rho_1 = \frac{N_1}{2\sqrt{3}R^2} \quad (1)$$

$$\rho_2 = \frac{N_2}{2\sqrt{3}R^2} \quad (2)$$

CDMA 시스템의 near-far problem을 해결하기 위한 완벽한 전력제어를 가정하여 한 명의 이동가입자로부터 그 이동가입자가 포함되어 있는 셀내의 기지국에 수신되는 전력은  $S_c$  일정 값으로 동일하다고 가정하였다. 음성서비스를 이용하는 이동가입자의 경우는 음성검출을 사용하여 음성검출요소  $\alpha$

를 간섭잡음전력 분석에 반영하였다. 또한 본 논문에서는 CDMA 채널을 시간에 따라 변하는 multipath fading 채널 모델이 아닌 시간에 독립적인 결정 전송 채널 모델로 설정하여 간섭잡음 전력을 분석하였다.

셀 B의 이동가입자로부터 셀 A의 기지국에 수신되는 간섭잡음전력은 셀 B의 기지국으로부터의 거리 r에 대한 셀 A의 기지국까지의 거리 x의 비에 대한 가장 일반적인 전송 경로 손실 계수인 네제곱에 비례한다. 따라서 셀 B의 단위 면적에 존재하는 이동가입자들로부터 셀 A의 기지국에 수신되는 간섭잡음전력  $P(d)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(d) = \int (a\rho_1 + \rho_2) S_c \left(\frac{r}{x}\right)^4 dA \quad (3)$$

$$x = \sqrt{d^2 + r^2 + 2dr\cos\theta} \quad (4)$$

따라서 이 식을 이용하고 두 셀 간의 거리는 셀 반경 R의 k배로 나타낼 경우, 셀 B 전체에 존재하는 모든 이동가입자들로부터 셀 A의 기지국에 수신되는 간섭잡음 전력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(d=kR) &= \int_0^\pi \int_0^R \frac{(aN_1 + N_2)}{2\sqrt{3}R^2} S_c \left(\frac{r}{x}\right)^4 r dr d\theta \quad (5) \\ &= \frac{(aN_1 + N_2) S_c}{2\sqrt{3}R^2} \int_0^R dr (r)^5 \int_0^\pi \frac{d\theta}{(\sqrt{d^2 + r^2 + 2dr\cos\theta})^4} \quad (6) \end{aligned}$$

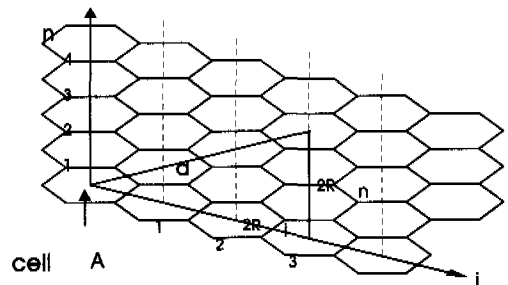


그림 3. 다중셀로 구성된 CDMA 시스템

다음은 두 셀로 구성된 CDMA 시스템에서 유도한 외부 셀의 간섭잡음전력을 이용하여 그림 3과 같은 다중 셀들로 구성된 CDMA 시스템에서 외부 간섭잡음전력을 구하였다.

그림 3에서 보듯이 셀들의 구성을 하나의 좌표 평면상에 표현하고 원점에 위치한 셀 A를 기준으로

외부 셀들로부터 간섭잡음전력을 구하였다. 셀 A를 기준으로 바로 인접한 셀들을 ring-1 셀들이라 하고 그 다음에 인접한 셀들을 ring-2 셀들로 그리고 n번째에 인접해 있는 셀들을 ring-n 셀로 정의하였다. Ring-n에 있는 셀의 기지국으로부터 기준이 되는 셀 A의 기지국까지 거리  $d_{R,n,i}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{R,n,i} = 2R\sqrt{n^2 + i^2 - ni} = kR \quad (7)$$

$i$ 가 1, 2, 3, ...,  $n$ 에 대하여 ring-n에 있는 셀들 중에 그 셀의 기지국으로부터 셀 A의 기지국까지의 거리가  $d_{R,n,i}$ 로 같은 거리에 있는 셀들은 모두 6개씩 존재한다. 따라서 모든 외부 셀로부터 수신되는 셀 A의 기지국으로 수신되는 외부 간섭잡음전력  $I_{oc}$ 는  $P(d)$ 를 이용하여 다음과 같이 구할 수가 있다.

$$I_{oc} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n 6P(2R\sqrt{n^2 + i^2 - ni}) \quad (8)$$

셀 A의 기지국에 수신되는 간섭잡음전력은 앞에서 구한 외부 셀의 간섭잡음전력뿐만 아니라 셀 A의 내부에 다른 이동가입자들로부터 내부 셀 간섭잡음전력도 존재한다. 따라서 셀 A에 미치는 간섭잡음 전력은 내부 셀내에 간섭잡음 전력과 외부 셀에서의 간섭잡음 전력의 합으로 구할 수가 있다. 내부 셀내에 현재 서비스 받고 있는 음성서비스 사용자의 수를  $M_1$ , 데이터서비스를 받고 있는 사용자의 수를  $M_2$ 라고 할 경우, 내부 셀과 외부 셀의 간섭잡음전력을 모두 고려한 시스템의 신호대 잡음 전력비 SNR은 각각 다음과 같이 구하였다. 먼저 음성서비스를 받고 있는 사용자의 SNR비를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{\alpha S_c}{\alpha(M_1 - 1)S_c + M_2 S_c + I_{oc}} \quad (9)$$

또한 데이터서비스를 받고 있는 사용자의 SNR비를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S_c}{\alpha M_1 + (M_2 - 1)S_c + I_{oc}} \quad (10)$$

이 SNR을 가지고 일반적인 CDMA 시스템의 각 bit당 오류 확률 BER를 구하는 다음과 같은 식<sup>[8]</sup>을 이용하여 시스템에서 음성 및 데이터서비스를 제공하며 음성서비스시 음성검출을 사용한 경우의 BER

를 구할 수 있게 된다.

$$BER = 0.5 \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (11)$$

## IV. 성능 비교 평가

### 1. D-TDMA 프로토콜 성능 평가

D-TDMA 프로토콜의 경우는 총 이동가입자의 수, 그리고 일정 크기의 D-TDMA 프레임에 대한 요구슬롯의 수, 음성슬롯의 수가 시스템의 성능을 결정하므로 이러한 파라미터들을 고려하여 시뮬레이션을 수행할 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 하나의 셀내에 존재하는 이동가입자의 수는 200~500명으로 가정하였고, D-TDMA 프레임의 음성슬롯의 수가 음성 및 데이터서비스에 커다란 영향을 미치게 되므로 음성슬롯의 수가 15, 20, 25인 경우를 고려하고 평균 데이터 발생률이 음성 발생률보다 적은 0.0001msg/sec와 0.001msg/sec로 나누어 평가하였고 또한, 평균 데이터 길이가 1kbits, 5kbits, 8kbits인 경우로 나누어 성능을 평가하였다.

현재 음성 중심의 무선접속 시스템을 고려하여 평균 데이터 발생률이 0.0001msg/sec인 경우를 시뮬레이션 하였다. 그림 4는 D-TDMA에서 평균 데이터 길이에 따른 음성차단확률의 결과를 보여 주고 있다. 사용자가 사용 가능한 음성슬롯의 수,  $N_v$ 가 가장 큰 25인 경우에 음성차단확률이 가장 적은 값의 결과를 보이며 성능의 우수성을 나타내고 있고 평균 데이터 길이가 길어져도 크게 음성차단확률이 변화하지 않고 있음을 알 수 있다.

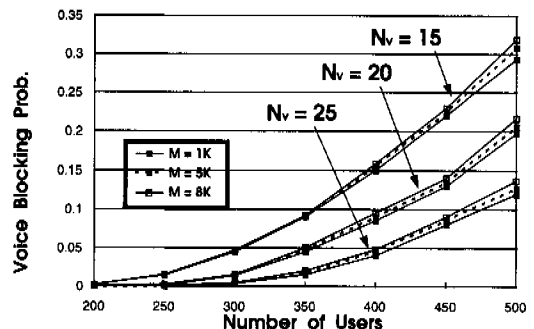


그림 4. D-TDMA 프로토콜에서 음성차단확률

그림 5의 그래프는 D-TDMA 프로토콜에서 음성서비스 사용자들이 서비스를 받기까지 지연시간인

음성역세스시간의 결과를 그래프로 보여주고 있다. 음성차단확률처럼 음성역세스시간도 평균 데이터 길이 변화에 영향을 받지 않았다. 음성서비스를 위하여 사용 가능한 음성슬롯의 수가 증가하면 즉,  $N_v$ 가 25인 경우에 음성역세스시간이 가장 짧고 사용자의 수가 증가할수록 역세스 시간이 길어짐을 알 수가 있다.

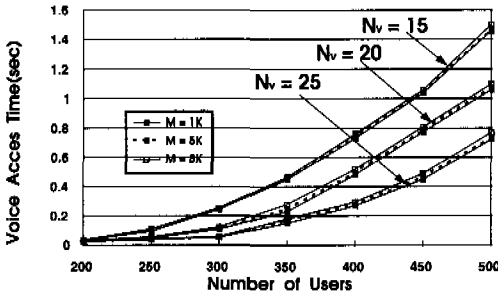


그림 5. D-TDMA 프로토콜에서 음성역세스시간

그림 6은 D-TDMA에서 데이터서비스 사용자가 채널 사용 전까지의 지연시간인 데이터 전송 지연 시간을 그래프로 보여주고 있다. 데이터 전송 지연 시간은 요구슬롯동안 보낸 요구패킷에 대한 기지국으로부터의 Ack을 수신하기까지의 지연시간과 기지국으로부터 채널 사용을 허가 받고 서비스 받기 직 전까지 서비스 큐에서 대기하는 지연시간의 합으로 나타내었다.

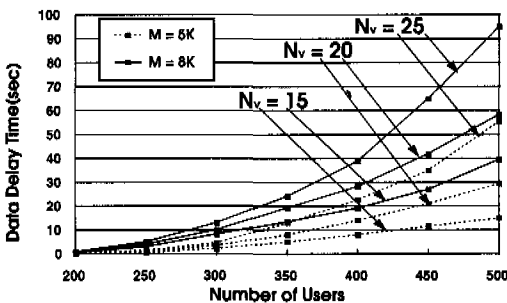


그림 6. D-TDMA 프로토콜에서 데이터전송 지연시간

데이터 전송 지연시간은 음성슬롯의 수가 커질수록 하나의 D-TDMA 프레임에서 데이터서비스만을 위해 사용할 수 있는 데이터슬롯의 영역이 작아지므로 사용자수가 많아질수록 서비스 큐에서 기다리는 시간이 매우 빠른 속도로 증가하고 또한 평균 데이터 길이가 길어지면 서비스큐에서 대기시간이

훨씬 길어진다.

## 2. CDMA 프로토콜 성능 평가

CDMA 프로토콜은 이동가입자 수의 증가가 간섭 잡음전력의 크기를 결정하게 되므로 이러한 관점에서 시뮬레이션을 수행하였다.

그림7의 그래프는 평균 데이터 발생률이 0.0001 msg/sec인 경우, 평균 데이터의 길이가 1kbits일때 CDMA 프로토콜에서 음성서비스 손실이 발생한 경우 재전송이 불가능하므로 성능 지표로 선정된 음성손실확률을 구하였다. 이동가입자의 수가 증가할수록 간섭잡음전력이 커지므로 음성손실확률이 커지지만 D-TDMA 프로토콜보다는 음성손실확률이 더 작은 값의 결과를 보이고 있다. 따라서 D-TDMA 프로토콜의 음성차단확률은 CDMA 프로토콜의 음성손실확률보다 같은 수의 이동가입자에 대해 큰 값을 가지므로 이 결과는 CDMA 프로토콜의 성능이 더 우수함을 나타낸다.

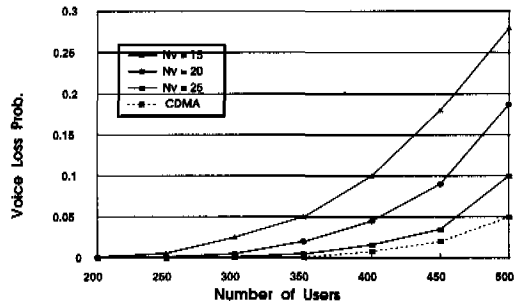


그림 7. CDMA 프로토콜에서 음성손실확률

또한 평균 데이터 길이가 5kbits, 8kbits인 경우도 1kbits인 경우와 음성패킷손실확률은 비슷한 결과를 보였고 따라서 음성패킷손실은 CDMA 프로토콜이 훨씬 우수한 성능을 보였다.

CDMA 프로토콜에서 데이터 전송 지연시간은 서비스를 원하는 데이터 패킷이 발생한 후부터 손실 없이 기지국에 수신될 때까지 재전송을 위한 지연 시간을 모두 포함한다. 평균 데이터 길이가 길어지면 전송에 오류가 더 많이 발생하므로 빈번하게 패킷을 재전송하게 된다. 따라서 평균 데이터 길이에 따른 D-TDMA 프로토콜의 성능 변화와 CDMA 프로토콜의 성능 변화를 비교 분석하였다.

그림 8은 평균 데이터 길이가 1kbits인 경우의 데이터 전송 지연시간을 나타낸 것으로 D-TDMA 프로토콜에서 음성슬롯의 수가 15, 20인 경우를



CDMA 프로토콜과 비교한 그래프로 CDMA 프로토콜의 데이터 전송 지연시간이 훨씬 작은 값의 결과를 보이고 있다.

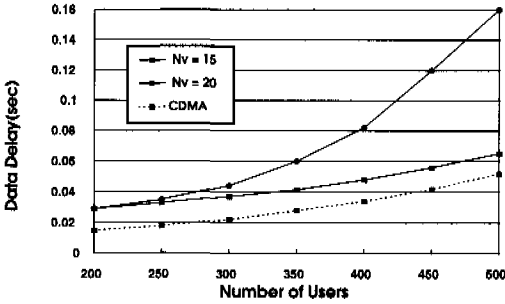


그림 8. CDMA 프로토콜에서 데이터전송 지연시간 (M=1Kbits)

그림 9는 평균 데이터 길이가 5kbits인 경우의 데이터 전송 지연시간을 나타낸 그래프로 D-TDMA 프로토콜에서 음성슬롯의 수가 15와 20인 경우에 비하여 CDMA 프로토콜의 데이터 전송 지연시간이 더 길어졌다.

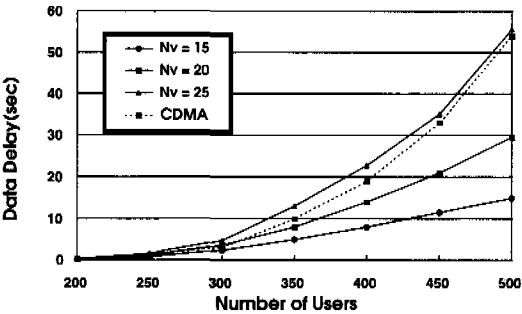


그림 9. CDMA 프로토콜에서 데이터전송 지연시간 (M=5Kbits)

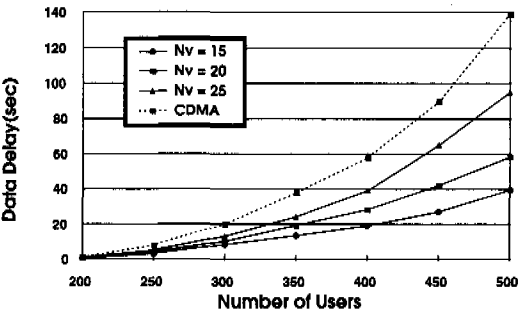


그림 10. CDMA 프로토콜에서 데이터전송 지연시간 (M=8Kbits)

그러나 D-TDMA 프로토콜의 음성슬롯의 수가 25인 경우는 여전히 CDMA 프로토콜의 우수성을 보여 주고 있다.

그림 10은 평균 데이터 길이가 8kbits인 경우로 이 경우는 D-TDMA 프로토콜의 음성슬롯의 수와 관계없이 같은 수의 이동가입자에 대하여 CDMA 프로토콜에서 데이터 전송 지연시간이 더 길며 또한 D-TDMA 프로토콜과의 데이터 전송 지연시간의 차이가 5kbits일 때 보다 훨씬 큰 차이를 보였다.

다음은 현재의 음성 중심의 무선접속 시스템에서 데이터 서비스 요구의 증가를 고려하기 위하여 데이터 발생률을 0.001msg/sec로 음성 발생률보다 크게 설정하여 성능을 비교하였다.

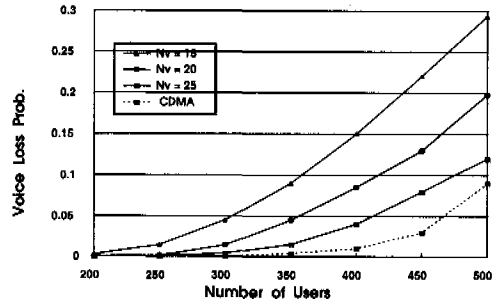


그림 11. CDMA 프로토콜에서 음성손실확률 (lambda d = 0.001msg/sec)

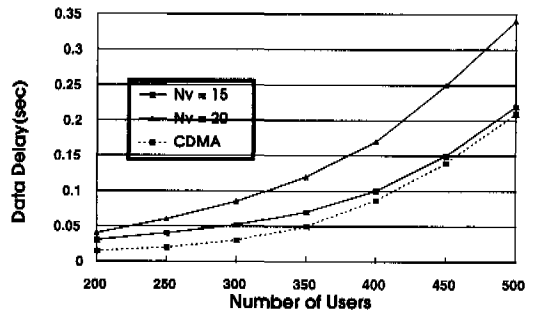


그림 12. 데이터전송 지연시간 (M=1Kbits, lambda d = 0.001msg/sec)

먼저, 그림 11은 D-TDMA에 비하여 CDMA 프로토콜이 음성손실확률에 관하여 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 12는 평균 데이터 길이가 1kbits일때 데이터 전송 지연 시간을 보여 주고 있다. 평균 데이터 발생률이 증가하게 되면 D-TDMA 프로토콜에서 데이터 전송 지연 시간이 더욱 급속하게 증가하여

CDMA 프로토콜의 성능이 우수함을 보여 주고 있다.

그림 13은 평균 데이터 길이가 5kbits일 때, 그림 14는 평균 데이터 길이가 8kbits일 때 데이터 전송 지연 시간을 보여 주고 있다. 5kbits인 경우는 음성 슬롯의 수가 15인 경우를 제외하고 평균 데이터 지연 시간은 CDMA 프로토콜의 성능이 우수하고 8kbits인 경우는 음성슬롯의 수가 25인 경우보다 CDMA 프로토콜의 성능이 우수한 결과를 보였다.

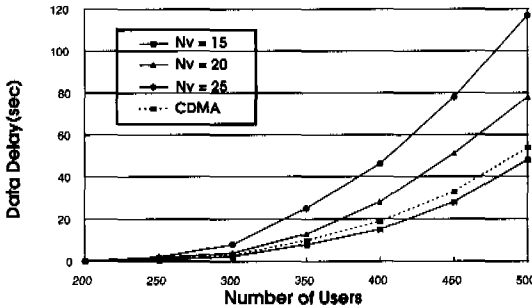


그림 13. 데이터전송 지연시간 (M=5Kbits,  $\lambda d = 0.001\text{msg/sec}$ )

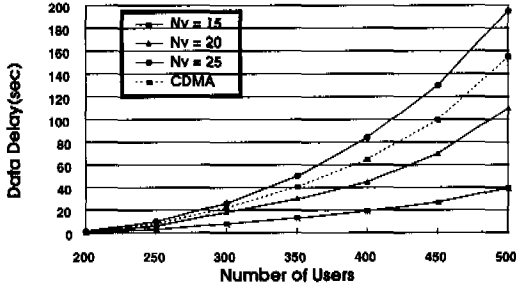


그림 14. 데이터전송 지연시간 (M=8Kbits,  $\lambda d = 0.001\text{msg/sec}$ )

평균 데이터 길이가 길어지면 데이터 전송 지연 시간에 대하여 CDMA 프로토콜의 성능이 더욱 빠른 속도로 감소되지만 데이터 발생률을 같이 증가시킬 경우 오히려 CDMA 프로토콜의 성능이 적은 폭으로 감소하여 대체적으로 더 우수한 결과를 보였다.

### 3. 성능 비교 평가

음성서비스의 경우는 재전송이 불가능하기 때문에 D-TDMA 프로토콜에서 음성차단확률과 CDMA 프로토콜에서 음성손실확률을 성능 비교 지표로 결정하고, 데이터서비스의 경우는 전송한 정보가 제대

로 수신될 때까지의 지연 시간인 데이터 전송 지연 시간을 성능 비교 지표로 하여 두 무선 접속 방식을 비교하였다.

먼저 평균 데이터 발생률이 음성발생률보다 적은 0.0001msg/sec이고, 평균 데이터 길이가 1kbits인 경우, CDMA 프로토콜이 D-TDMA 프로토콜보다 음성차단확률과 데이터 전송 지연시간에 대하여 더 작은 결과 값을 가지며 더 우수한 성능을 보였다. 평균 데이터 길이와는 독립적으로 음성차단확률은 CDMA 프로토콜이 D-TDMA 프로토콜보다 훨씬 더 우수한 성능을 보였다. 그러나 평균 데이터 길이가 길어짐에 따라 D-TDMA 프로토콜은 음성차단확률과 음성역세스시간에 거의 변화가 없고 데이터 전송 지연 시간은 증가하게 되지만 CDMA 프로토콜에 비하여 증가폭이 적은 결과를 보였다. 따라서 평균 데이터 길이가 8kbits인 경우는 D-TDMA 보다 CDMA 프로토콜이 데이터 전송 지연시간이 훨씬 큰 폭으로 증가하여 성능이 떨어짐을 보였다.

평균 데이터 발생률을 증가시키는 경우는 D-TDMA 프로토콜에서의 데이터 전송 지연시간이 훨씬 큰 폭으로 증가하여 CDMA 프로토콜이 음성 차단확률과 데이터 전송 지연 시간에 대하여 더욱 우수한 성능 결과를 보였다.

따라서 paging이나, e-mail등의 비교적 짧은 길이의 데이터서비스만을 제공하며 더욱 빈번하게 서비스를 요구하는 경우 PCS 시스템의 무선 접속 방식으로는 CDMA 프로토콜이 더욱 적합하고 훨씬 우수한 성능을 보이지만 다양한 형태의 파일 전송이나 멀티미디어 데이터 전송등의 데이터서비스의 요구를 반영하기 위해서는 D-TDMA 프로토콜이 적합할 것이다. 또한 기존의 CDMA 프로토콜을 사용하는 무선접속 시스템에서는 음성 중심의 서비스 제공에서 벗어나 다양한 길이의 데이터 및 화상 서비스를 위한 기술 개발 및 연구가 필요할 것이다.

## V. 결론

본 논문에서는 무선접속 시스템에서 음성 및 데이터서비스를 모두 고려한 디지털 무선 접속 방식으로서 D-TDMA와 CDMA 프로토콜의 성능을 비교 분석하였다.

무선접속 시스템에서 음성과 데이터의 공용 서비스를 고려하여 D-TDMA 프로토콜의 경우, 시간 지연에 민감한 음성서비스에 채널 사용 우선권을 부여하는 동적 채널 할당 방식을 고려하였다. 또한,

CDMA 프로토콜에서는 음성접출 기법을 사용하여 다른 사용자에게 미치는 간섭잡음전력을 줄이는 방식으로 시스템의 성능 향상을 도모하였다. 더불어 음성접출을 사용하였을 때 내부 셀내의 다른 이동 가입자 및 외부 셀들에 존재하는 다른 이동가입자들의 간섭잡음전력을 분석하여, 실제 데이터 전송의 BER을 구하였다.

실용적인 파라미터를 설정하고, 음성 및 데이터 서비스를 지원하는 D-TDMA 프로토콜 및 CDMA 프로토콜을 사용하는 무선접속 시스템을 각각 시뮬레이션 하였다. 그리고 이 시뮬레이션을 통하여 음성 차단확률(음성패킷손실확률) 및 데이터 전송 지연 시간의 두 성능 지표로 두 시스템을 비교 분석하였다. 또한, 미래의 무선접속 시스템에서는 다양한 형태의 파일 전송이나 멀티미디어 데이터 전송등의 여러 가지 데이터서비스가 요구될 것이므로 평균 데이터 길이의 변화와 평균 데이터 발생률의 변화에 따른 각 시스템의 성능 변화를 비교 분석하였다. 평균 데이터 발생률이 음성발생률보다 작고 평균 데이터 길이가 1kbits인 경우는 D-TDMA에 비하여 CDMA 프로토콜이 훨씬 우수하여 음성차단확률(음성손실확률)과 데이터 전송지연시간이 더 작은 값의 결과를 보였다. 또한 평균 데이터 길이에는 독립적으로 음성차단확률은 CDMA 프로토콜이 D-TDMA 프로토콜에 비하여 항상 우수한 성능을 보였다. 그러나 평균 데이터 길이가 5kbits와 8kbits인 경우, D-TDMA 프로토콜보다 CDMA 프로토콜에서 평균 데이터 길이의 증가에 더 민감한 성능 변화를 보였으며 특히 데이터 길이가 8kbits인 경우, 데이터 전송 지연시간의 경우, D-TDMA 프로토콜이 훨씬 더 우수한 성능을 보였다.

평균 데이터 발생률이 증가하여 음성발생률보다 큰 값을 가지는 경우는 D-TDMA 프로토콜이 CDMA 프로토콜보다 성능 저하가 큰 쪽으로 발생하여 음성차단확률과 음성슬롯의 수가 25인 경우의 데이터 전송 지연 시간에 대하여 CDMA 프로토콜이 더 우수한 성능 결과를 보였다.

결론적으로 무선접속 시스템에서 무선 접속 방식은 평균 데이터 길이가 짧고 데이터 서비스 욕구가 증가할 경우는 CDMA 프로토콜이 우수한 성능을 보였으나, 데이터 길이가 길어질수록 D-TDMA가 데이터 전송 지연에 대하여 더 우수한 성능을 보였다. 따라서 paging이나, e-mail등의 비교적 짧은 길이의 데이터서비스의 증가만을 고려할 경우에 무선 접속 시스템의 무선 접속 방식으로는 CDMA 프로

토콜이 더욱 적합하고 훨씬 우수한 성능을 보이지만 다양한 길이의 파일 전송이나 멀티미디어 데이터 전송 등의 데이터서비스의 요구를 반영하기 위해서는 D-TDMA 프로토콜이 적합함을 보였다. 그러므로 짧은 길이의 데이터를 서비스하는 시스템인 경우에는 CDMA방식을 사용하고 긴 데이터를 서비스하는 경우에는 D-TDMA 방식을 사용해야한다. 또한 기존의 CDMA 프로토콜을 사용하는 무선접속 시스템에서는 음성 중심의 서비스 제공에서 벗어나 다양한 형태의 데이터 및 화상 서비스를 위한 기술 개발 및 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Abrishamkar and E. Biglieri, "An Overview of Wireless Communications," 1994 IEEE Milcom Conference, Vol. 3, pp. 900-905, Oct. 1994.
- [2] V. O. K. Li and X. Qiu, "Personal Communication Systems (PCS)," Proceedings of The IEEE, Vol. 83, No. 9, pp 12101243, Sep. 1995.
- [3] 신중환, "PCS 서비스 발전방안," 텔레콤, 제 9 권, 제 2 호, pp. 4-8, Dec. 1993.
- [4] P. Jung, P. W. Baier and A. Steil, "Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in Cellular Mobile Radio Applications," IEEE Trans. Vehicular Tech. Vol. 42, No. 3, pp. 357-364, Aug. 1993.
- [5] A. K. Elhakeen, R. D. Girolamo, I. B. Bdira and M. Talla, "Delay and Throughput Characteristics of TH, CDMA, TDMA, and Hybrid Networks for Multipath Faded Data Transmission Channels," IEEE JSAC, Vol. 12, NO. 4, pp. 622-637, May 1994.
- [6] P. D. Rasky, G. M. Chiasson, D. E. Borth and R. L. Peterson, "Slow Frequency-Hop TDMA/CDMA for Macrocellular Personal Communications," IEEE Personal Comm. Mag., Second Quarter, pp. 26-35, 1994.
- [7] K. Raith and J. Uddenfelt, "Capacity of Digital Cellular TDMA Systems," IEEE Trans. Vehicular Tech. Vol. 40, No. 2, pp. 323-332, May 1991.

