

이동무선통신 기술동향에 관한 고찰 (Study on the Mobile Radio Communication)

장우현*
(W. Jang)

최근의 통신산업은 제2의 무선통신기술 도약기라 할 수 있다. 셀룰러 통신기술의 출현으로 가속화 되기 시작한 무선통신기술은 다양한 무선응용 서비스의 등장으로 정보통신 환경의 변화로 이어지고 있다. 향후 무선통신은 정보통신망에 의한 음성, 데이터, 메시지 서비스 등이 장소와 시간에 제한받지 않고 보다 효율적으로 이루어질 수 있도록 발전해 나아갈 전망이다. 본 고에서는 셀룰러 응용 및 기술개발에 관한 현황과 미래의 무선통신 네트워크의 향후 발전 전망 등에 대하여 살펴보고자 한다

I. 개요

효율적이며 다양한 무선통신 서비스는 오늘날 통신시장에서 요구하고 있는 가장 중요한 분야이며, 이를 위해 다양한 서비스가 이미 상용화되고 있다. 가정과 사무실에서는 코드리스 전화가 단편적 이나마 통신의 이동성을 제공해 주고 있으며, 건물 내에서는 무선 LAN(local area network)에 의한 고속 데이터 네트워킹 그리고 어디서나 이동성이 보장되는 셀룰러 서비스 및 페이지징 시스템들이 이미 상용화 되고 있다. 또한 수많은 무선원격제어장치의 상용화가 전망되는 등 무선응용 서비스는 다음과

같이 다양하게 전개될 것으로 보인다.

- 고속도로상에서 자동차를 멈추지 않고 통행요금을 무선으로 지불할 수 있는 electronic toll-collection system
- 개인정보 혹은 메시지 서비스를 무선 인터페이스를 통하여 제공받을 수 있는 소형의 디지털 휴대장치
- 건물내에서는 무선 네트워크를 이용하고 건물 밖에서는 PCN(personal communications network)을 통하여 자유로운 통화를 가능케 해주는 휴대전화

이와 같이 최근에 급격히 발전하고 있는 무선통신기술은 언제 어디서 누구에게나 음성, 데이터, 메시지를 가능케 해줄 것이다. 본 고에서는 미래의 디

* 기술기준연구실 선임연구원

지털 무선 시스템의 서비스 질과 수용능력을 배가시킬 것으로 예상되는 디지털 셀룰러 시스템 기술, 보다 향상된 신호처리 기술, 고속 데이터 전송을 위한 무선 LAN 등의 최근 관심기술에 관한 동향을 살펴보고자 한다.

II. 무선통신 기술의 동향

1. 셀룰러 시스템

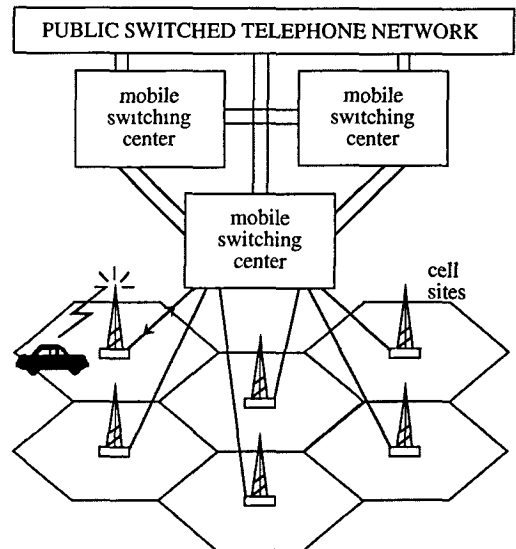
최근의 무선 서비스는 셀룰러 서비스의 성장에 상당히 고무되고 있는 듯하다. 셀룰러 개념은 1970년대 말에서 1980년대 초에 걸쳐 미국에서 개발되었다. 셀룰러 기술 이전의 이동 무선 시스템은 단일 셀(single-cell) 시스템으로서 하나의 서비스 제공지역 전체에서 제한된 수의 무선채널을 사용하여 송수신하는 개념이었다. 이때 서비스 가능지역의 범위는 기지국 송신안테나의 성능에 따라 제한되며, 한 채널이 사용중인 경우 그 서비스 지역내에서 중복사용될 수 없기 때문에 단일 셀 시스템에서의 가입자 수용능력은 셀에 할당할 수 있는 무선채널수에 의해 결정된다.

셀룰러의 개념은 서비스 지역을 여러개의 작은 셀로 분할하여 주파수의 활용도를 높여보자는 것이 그 시작점이며 각 셀에서는 전체 무선채널의 일부분을 사용하게 된다. 따라서 무선채널은 인접채널 간섭의 영향을 받지 않는 다른 셀에서 재사용될 수 있다. (그림 1)에서와 같이 각 셀의 중심부의 기지국(base station)들은 유선에 의해 교환장치(mobile telephone switching office; MTSO)와 접속된다. 물론 MTSO들간 혹은 PSTN(public switched telephone

network)과 접속되어 있기도 하다. 한정된 주파수 자원의 이용시 시스템 수용능력을 향상시키기 위하여 셀의 크기를 줄여야 하는데 이렇게 함으로써 무선채널의 재사용 횟수를 늘릴 수 있기 때문이다.

이와같이 셀룰러 시스템의 개념은 매우 단순하지만 이의 실현은 제도적, 기술적 측면에서 기술에 대한 새로운 시도로 생각된다. 즉, 주파수 대역이 사용가능해야 하며 운용 자격을 획득해야 한다. 그러나 현실적으로 원하는 주파수 대역내의 가용 스펙트럼이 없는 경우가 많고 통신사업자들은 커다란 시장기회를 확보하기 위하여 경제적으로 사업권 획득을 원하고있다.

미국의 경우 제도적 측면의 문제를 해결하기 위하여 UHF 텔레비전 방송에 할당되었던 50MHz의 주파수 대역을 사용가능토록 배정하고 2개의 사업권으로 분할하여 25MHz마다 각각의 서비스 지역



(그림 1) 셀룰러 시스템 구조도

에서 별도의 사업권을 인정하고 있다. 셀룰러 시스템에는 처음에 40MHz가 할당되었으며 몇년 후에 10MHz가 추가 할당 되었다.

기술적 측면에서 관심의 대상이 되는 부분은 가입자가 한 셀에서 다른 셀로 이동할 때 이동체의 식별 및 추적이 가능토록 하여 서비스 지역내 셀간의 이동시 통화의 연결이 유지되어야 한다는 것이다. 미국은 이와 같은 기술적인 요구를 AMPS(Advanced Mobile Phone Service)에 의해 해결하고 있다. AMPS 시스템은 이동체와 이동교환 시스템간의 복잡한 신호체계를 사용하고 있으며 이동체의 추적과 모니터링, 그리고 무선전송 링크의 제어, 셀간의 핸드오프(hand-off) 등에서도 마찬가지로 복잡한 신호체계를 사용하고 있다(핸드오프는 셀룰러 시스템의 다른 셀상에서 상이한 무선 채널간 호(call)의 전송을 의미함).

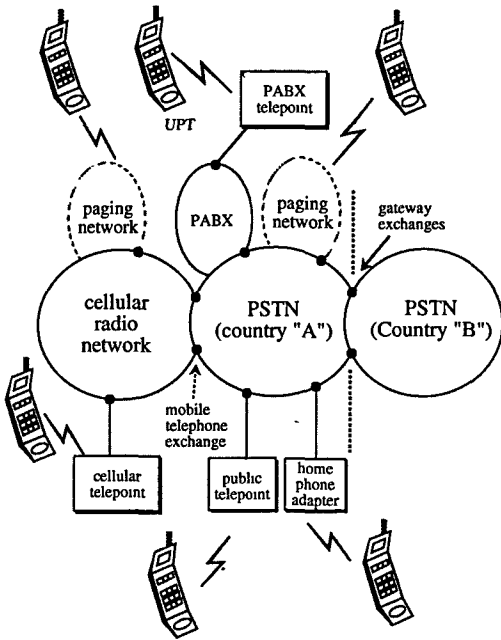
이와 같이 단지 50MHz의 주파수 자원을 가지고 미국에서는 1,100만 이상의 셀룰러 서비스 가입자를 수용하고 있으며 그 숫자가 빠르게 증가하고 있는 추세이다. 현재의 제1세대 셀룰러 시스템은 아날로그 FM 무선기술에 바탕을 두고 있다고 볼 수 있지만 통화 품질의 향상, 가입자 수용능력의 확장 등의 목적을 수용하기 위하여 제2세대의 셀룰러 시스템은 디지털 무선기술과 보다 향상된 네트워크 원리를 적용하여 개발중에 있으며 전세계적으로 폭넓게 채택될 전망이다.

무선접속기술은 시스템의 통화품질 및 네트워크 수용능력을 결정하는 중요한 기술분야이다. 제2세대 셀룰러 시스템은 TDMA(time-division multiple access) 혹은 CDMA(code-division multiple access) 기술을 적용하고 있다. 이와 같은 기술의 적용에 의해

현재의 아날로그 셀룰러 시스템에 비하여 약 3~10배의 시스템 수용능력을 증가시킬 수 있다고 입증된 바 있다. 이들 제2세대 시스템들은 고도의 무선통신 서비스를 보다 넓은 서비스 지역에서 제공하기 위하여 ISDN(integrated services digital network)과 intelligent network에 적용되는 원리들도 함께 사용하고 있다.

다음에 향후 셀룰러 혹은 이동전화 발전전망의 모델로 거론되고 있는 UMTS(Universal Mobile Telephone System)에 관하여 간략히 살펴보기로 한다. 텔리포인트(telepoint) 기지국들이 특정한 여러 곳에 설치된다 하여도 이상적으로 단말 이용자들은 어디에서나 전화통화가 가능한 것은 아닐 것이다. 이에 따라 차세대의 논리적 개념으로 논의되기 시작한 UMTS는 CT2(Codeless Telephone 2)나 텔리포인트 시스템에서 출발하여 CT3나 DECT(Digital European Cordless Telecommunications)를 거쳐 진화할 것으로 예상되고 있다. 단말기의 크기는 매우 소형화되어 휴대가 간편해질 것이며 UMTS는 사무실에서 무선 PBX(private branch change)를 통하여 활용될 수 있음은 물론 비행기나 선박에서도 사용이 가능하며 실제로 도시부근의 어디에서나 셀룰러 전화 시스템이나 PSTN과 접속되어 있는 마이크로 셀의 네트워크를 통하여 통화가 가능할 것이다. UMTS를 구현하는 설비들은 복잡하지만 이러한 개념들은 현존하는 기술영역내의 사항들로서 셀룰러 전화보다 간단하게 구현할 수 있을 것으로 보이며, 저출력 송신, 긴 배터리 수명이 가능해질 것이다. UMTS는 새로운 주파수대의 할당(1~2GHz)을 필요로 하는데 RACE(Research and development into Advanced Communications technologies for Europe) 프

로젝트는 이미 개념적인 설정을 통하여 지속적인 연구계획을 세워놓고 있다. 1990년대 말 UMTS의 실용화를 위하여, 무선 접속, 전파방사, 어드레싱, 시큐리티, 인증(authentication), 신호처리기술, 디지털기술 등이 지속적으로 연구되어야 할 분야로 대두되고 있다. (그림 2)는 UMTS의 개념도를 나타내고 있으며 다양한 통신 네트워크와 연동되고 있음을 보여주고 있다.



(그림 2) UMTS의 개념도

2. 무선 신호 처리기술

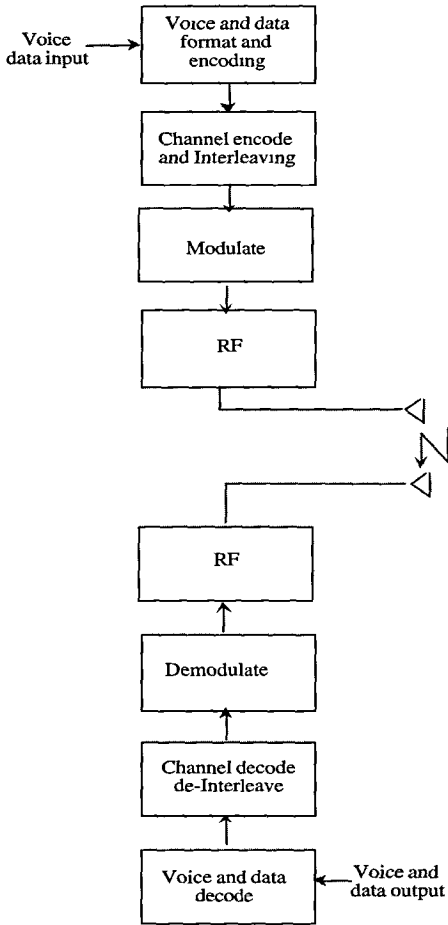
주파수 이용효율의 극대화는 무선산업이 당면하고 있는 가장 큰 기술적 과제일 것이다. 통신을 위한 고품질의 채널을 유지하면서 때때로 발생하는 예기치 못한 상황에서의 이용효율 극대화도 함

께 유지하여야 하는 기술적인 문제 해결이 요구된다. 즉, 구리선이나 광섬유 등과 같은 물리적인 통신매체와는 달리 자유공간 환경(공중선)을 이용하는 무선시스템은 동일채널 간섭(co-channel interference)이나 다중경로 간섭(multipath interference) 등의 요인에 의해 주변환경의 변화를 받으며 이동성에 의해 전송환경도 끊임없이 불규칙적으로 변화하기 때문이다.

(그림 3)은 디지털 무선 시스템의 기본적인 블록 다이어그램으로서 안정적인 디지털 무선통신을 실현하기 위해 변조(modulation), 에러 복구(error correction), 채널 등화(channel equalization), 다이버시티(diversity)등의 복잡한 신호처리 기술들이 현재 사용되고 있음을 알 수 있다.

디지털 무선 시스템의 주파수 이용효율은 변조 방식에 의해 좌우되는데 무선 인터페이스상에서 디지털 전송을 위한 변조 기술에는 진폭변조(amplitude modulation), 주파수변조(frequency modulation), 위상변조(phase modulation) 등이 있다.

제2세대코드리스전화(CT2) 시스템은 FSK(frequency shift keying) 변조방식을 사용하고 있으며 이때 주파수 효율은 0.72bps / Hz로 본다. 제2세대의 디지털 셀룰러 시스템에서는 주파수의 효과적인 사용을 위하여 보다 복잡하고 효과적인 변조기술이 강조된다. GSM(the pan-European Global Systems for Mobile communications standards)에서는 GMSK(Gaussian Minimum Shift Key) 변조방식을 채택하고 있으며 주파수 효율은 1.35bps / Hz이다. 북미의 디지털 셀룰러 표준(IS54)은 DQPS(differential quadrature phase-shift keying) 변조방법이며 주파수 효율은 1.62bps / Hz이다.



(그림 3) 디지털 무선 시스템의 신호처리

채널 코딩 기법에 의해 변조된 채널을 통하여 정보가 얼마나 안정적으로 전송되었는지 결정되며, 전진 에러 복구(forward error correction)에 의한 채널 코딩은 디지털 무선 전송에서 안정성을 확보하기 위하여 필수적이다.

페이딩(fading)을 감소시키고 수용능력을 증가시키기 위한 다이버시티 기술은 전송된 정보가 두개 이상의 채널로 전송되어 수신되는 정보를 재조합하

기 위한 기술이다. 공간 다이버시티(space diversity)는 적절히 공간 배치된 다수의 안테나를 사용함으로써 가능하게 된다. 시간 다이버시티(time diversity)는 정보의 전송을 여러개의 타임 슬롯(time slot)으로 나누어 전송하거나 정보의 수신을 레이크 수신기(rake receiver)를 사용하여 시간적으로 차이를 두고 수신함으로써 가능한데 시간 다이버시티는 실내 채널의 저속 페이딩에는 효과적이지 못하다.

기술의 진전으로 복잡한 신호처리 능력이 향상됨에 따라 소형화된 휴대단말로의 발전이 가능하게 되었다. 또한 이러한 신호처리 기술들은 무선 채널 링크의 품질을 꾸준히 향상시켜 오고 있는데 CDMA나 TDMA 등이 그 예이다. 결과적으로 소출력이며 효율적인 신호처리를 위한 집적회로의 개발로 복잡한 전자기적인 기능들이 휴대단말의 형태로 집약될 수 있을 것이다.

3. 무선통신의 효과적 음성코딩 기술

무선 음성 서비스 시스템에서 음성 코딩기술의 선택은 가장 중요한 기술적 선택사항이라 할 수 있다. 음성 코더는 시스템 성능, 호 연결 품질, 소요 전력, 단말기 크기 등 전반적인 시스템의 생산비용에 영향을 미치는 요소이기 때문이다. Low-bit-rate 코더는 시스템 성능을 향상시키는 반면 음성 품질의 저하를 가져올 수 있으며, 그 반면에 High-bit-rate 코더는 음성 품질을 향상시킬 수 있으나 같은 변조기술을 사용하는 경우 주파수 효율이 떨어진다. 무선 음성 서비스 시스템에서 적절한 음성 코더를 선택하기 위해서는 주파수 이용효율, 열악한 조건에서의 성능, 지연(delay), 전력소모, 메모리 요구, 가격

등의 요구조건이 고려되어야 하는 것이다.

셀룰러 시스템 기술은 수용능력을 최대화하면서 일정수준의 품질을 유지시키고자 하는 방향으로 나아가고 있다. 범유럽 GSM 시스템에서는 13 kbps 코더를 채택하고 있으며 북미의 IS54 표준에서는 8kbps 코더를 채택하고 있다. 또 이들 시스템은 half-rate 코더(6~4 kbps)로의 진화를 위한 계획을 준비하고 있다.

이와는 별도로 단거리 서비스와 실내서비스를 위주로 하는 무선 PBX 등의 시스템도 개발되고 있는데 이와같은 시스템은 대개 high bit-rate의 코더를 사용하고 있다. 유럽의 CT-2와 DECT 시스템은 일본의 개인휴대전화(Personal Handyphone System; PHS) 시스템과 마찬가지로 32kbps의 ADPCM (adaptive differential pulse code modulation) 음성 코딩을 채택하고 있다. ADPCM 코더는 low bit-rate 코더에 비해 적은 신호처리를 필요로 하지만 보다 넓은 주파수 대역을 필요로 하는 특징이 있다. 통화연결에 영향을 미치는 여러 가지 열화요인들에는 동일채널간섭(co-channel interference), 페이딩(fading) 등이 있는데 음성 코더가 무선시스템에서 에러 없는 완전한 환경을 보장해 주지는 못할 것이다. 이에 따라 ITU-R 표준인 음성 트랜스코딩(transcoding) 방법과 기존의 코딩방법간의 성능비교에 관한 연구가 진행중이다.

4. 무선 데이터 서비스기술

가. 무선 LAN

랩탑(lap-top)이나 팜탑(palm-top)의 출현으로 무선데이터 시스템이 시장의 주목을 받고 있다. 광역

(Wide-area)의, 양방향 패킷 무선, 단방향 페이지 네트워크들이 출현함에 따라 메시지나 데이터를 시간과 장소에 구애받지 않고 송수신 할 수 있게 되었다. 즉, 기존의 유선 체계로 해결하기 어려운 문제점들을 무선 LAN이 새로운 차원의 공간 자유를 부여함으로써 구내 데이터 네트워킹의 편의성을 높일 수 있게 되었다.

광역의 무선 데이터 네트워크가 상대적으로 협대역 주파수(9.6 kbps 이하)를 사용하는 반면 구내 무선 LAN은 보다 빠른 속도로 운용된다. 한 예로 NCR의 WaveLAN의 실제 데이터 전송속도를 살펴보면 12 MHz 대역에 2Mbps 이다. 상대적으로 FCC(Federal Communications Commission)의 스프레드 스펙트럼 규제에서는 무선 LAN의 주파수 대역을 900MHz로 규정하고 있다.

나. 무선 MAN /WAN

1990년 초 IBM과 Motorola에 의해 전국 무선 데이터 서비스를 위한 ARDIS(Advanced Radio Data Information Service)가 제안되었다. ARDIS는 양방향의 광역 무선 데이터 네트워크로서 서비스의 신뢰성과 안정성 향상을 기본 목표로 하고 있다. ARDIS는 다른 무선의 MAN/WAN과 접속하여 서비스를 제공하고 있는데 RAM Mobile Data의 Mobitex, Digital Radio Network의 Private Shared Network, Cellular Data Inc.의 Packet Data Service, 모토롤라의 Coverage PLUS 등이 ARDIS와 연동하는 네트워크들이다(표 1).

또한 미국에서는 페이징 네트워크를 통하여, 주요 재정정보등을 여행중인 경영자나 투자자들에게 전달하는 등의, 시간대에 크게 좌우되는 서비스도

<표 1> 광역 무선 데이터 네트워크 비교표

Network	ARDIS	Cellular Data, Inc.	Coverage-PLUS	Digital Radio Net	Mobitex
Operational Status	Commercially Available	Pilot testing with cellular carriers	Commercially Available	Commercially Available	Commercial service to begin feb 1991
Type of Coverage	In-building /street	Fixed or mobile	Mobile	Fixed	Mobile and fixed
Service Area	400 cities, 50 state	Any cellular telephone service area	Major metro & rural cities & highways	65 cities by mid 1991	50 planned metro areas
Voice Service	No	No	Yes	No	No
Channels per Service	1-3	Up to 4,800	Varies(20 typical)	1	10-30
RF Link Rate	4,800 bps	2,400 bps	4,800 bps	5,000 bps	8,000 bps
Usage Charges +\$03-\$125/packet	\$08+\$04/100 char Min.\$32/mon	\$5/mon. +\$02/packet	\$35vehcal/mon. +\$05/packet	\$30/mon. +\$06/packet	\$15-\$30/mon.
Hardware Cost	\$3,300	\$125	\$2,000-\$3,000	\$50-\$125	Varies/vendor
Open Architecture	No	No	No	No	Yes
Automatic	Not offered	Celliste	Zone &	Not	Varies by

<자료>: Datacomm ResearchIII

전국망을 통하여 제공하고 있다.

Digital Radio Networks과 Cellular Data, Inc.에서는 트랜잭션 발생 위주의 응용분야인 신용카드 검증이나 POS(Point-Of-Sale) 시스템을 위한 제품 등 고정데이터 응용에 초점을 두고 있는 새로운 무선 MAN/WAN도 등장하고 있다.

무선 MAN/WAN에 대한 비용평가나 효용은 이동,휴대 서비스인가 아니면 고정 데이터 응용인가를 떠나 실제 사용을 통하여 활용가치가 평가될 것이다.

Ⅲ. 무선통신 서비스의 유형별 분류

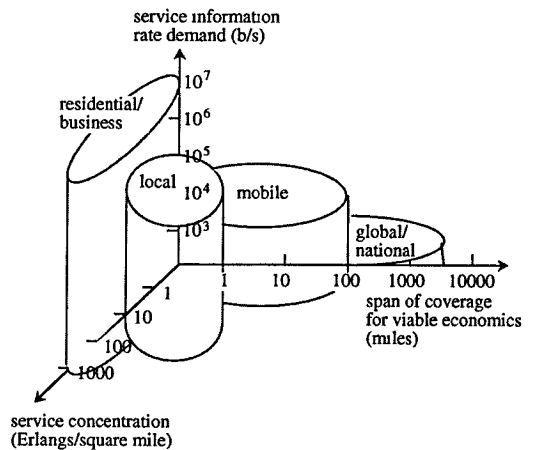
현재로서는 모든 무선응용 분야와 사용자의 요

구를 충족시켜줄 수 있는 완벽한 무선 기술 혹은 시스템은 존재하지 않는다. 협대역 코드리스 시스템에서 광대역 무선 LAN에 이르기까지 기존의 시스템이나 기술의 조합 또는 확장의 개념으로 기술발전이 이루어지고 있으며 이는 디지털 셀룰러 기술의 발전으로 설명될 수 있을 것이다. 무선응용시스템 개발자들의 목표는 서비스 환경과 기술이 각기 상이한 응용시스템간의 단절 없는 효과적인 시스템의 개발일 것이다. 이용자의 환경에 따라 시스템을 대별하고 무선시스템 구조를 관리하며 기술의 진화를 계획하기 위하여 무선응용 시스템을 서비스지역별 유형으로 표현할 수 있다(그림 4).

서비스되는 장소 혹은 위치에 따른 유형별 구분에 대한 각각의 특징들을 살펴보면 다음과 같다.

□ 광역 무선 서비스(global/national Service)

- 국가나 세계 전역을 무선서비스 지역으로 수용할 수 있음
- 이용자 집중도는 매우 낮음
- 최소한의 주파수 대역이 필요함
- 대개 위성시스템에 의해 서비스가 제공되며



(그림 4) 무선응용분야의 개념 분류도

- 메가셀(mega-cell) 개념으로 수 백마일의 반경에 걸쳐 서비스 제공이 가능함
- 주파수가 재사용되지 못하므로 이용자 수용 능력이 제한됨
- 이동 무선 서비스(mobile service)
 - 도시, 도시근교, 고속도로 주변의 인구밀집 도시 등을 서비스 지역으로 수용함
 - 이용자의 집중도가 다소 높음
 - 비교적 낮은 주파수 대역이 필요함(수십 kbps)
 - 고속이동차량에 대한 서비스를 제공함
 - 지역적으로 분산되어 있는 마이크로셀 개념으로 서비스 제공가능 지역은 약 20마일 이내임
 - 상대적으로 높은 전송 전력을 필요로 함
 - 북미지역의 AMPS 시스템이 Mobile서비스 유형의 좋은 예로 볼 수 있음
- 근거리 무선 서비스(local/micro service)
 - 도시지역의 인구밀집 지역(쇼핑타운, 기차역 등)에서 서비스 제공함
 - 이용자의 집중도가 매우 높은 서비스 유형으로 Medium 주파수 대역이 필요함
 - 휴대가능 이동단말로 저속의 이동성을 보장함(시간당 10마일 이하)
 - 지역적으로 분산된 기지국에 의한 서비스 형태이며 마이크로셀 개념에 의한 반경 1마일 이하의 서비스지역을 제공함
 - 주파수가 재사용됨에 따라 가입수용능력이 향상됨
 - 저출력, 간단한 무선 접속, 긴 배터리 수명, 단말의 소형화 등이 특징임
 - 마이크로 셀룰러 시스템은 이동 혹은 근거리

- 서비스 유형에 적합함
- 구내 무선 서비스(indoor/pico service)
 - 건물내에서의 무선서비스 제공이며 이용자의 집중도 고저에 관계없이 모두 해당됨
 - 중간대역에서 고주파대의 대역이 필요(Mbps)하며 이동성 보장이 미약함
 - 피코 셀룰러(pico-cellular)시스템 개념에 의한 서비스가 제공됨(셀의 크기가 보통 수백피트 이내임)
 - 고속의 데이터 전송이나 멀티미디어 응용서비스를 위한 고주파수 대역을 사용할 수 있음

IV. 맺음말

무선통신은 음성 혹은 데이터의 전송을 한개의 이동단말만을 사용하여 가능토록 발전하고 있으며 하나의 무선통신 환경에서 다른 환경으로 자연스럽게 이동할 수 있도록 하는 것이 목표라고 할 수 있다. 국제표준이나 지역표준들은 공통적으로 모든 통신 환경을 통하여 단속 없는 서비스의 제공을 주요 골자로 하고 있다.

지속적인 기술의 진전과 합리적인 표준의 정립, 기술기준의 제정 등으로 지구의 어디에서나 단속 없는 무선통신 서비스가 향후 10년안에 가능해질 것으로 생각된다.

디지털 무선 기술의 급속한 발전은 시간과 공간을 초월한 음성, 데이터, 비디오 서비스의 가능성을 높여주고 있다. 필요한 정보로의 자유스러운 접근은 개인생활의 질을 향상시켜줄 수 있을 것이다. 현재 다양한 형태로 발전되고 있는 이동무선통신은 개인통신(personal communication)의 형태로 수렴될

것으로 전망된다. 즉, 텔리포인트 네트워크에 의한 일정 범위 내에서의 CT2 사용 확산, 그리고 CT3 및 DECT로의 발전이 UMTS 등과 같은 개념으로 이어질 것으로 예상되고 있는 것이다. 결국 이동무선통신은 사람들간의 간격을 좁혀주고 생활을 보다 편리하게 만들어 줄 것이다.

참 고 문 헌

- [1] John Waker, "Mobile Information Systems," pp 59-101, Artech House, Inc. 1990.
- [2] James J C Chang, Richard A. Miska, R. Anthony Shober, "Wireless Systems and Technologies," *AT&T Technical Journal*, vol 43, no 3, pp 11-18, July/Aug 1993
- [3] Ira Brodsky, "Wireless MANs/WANs Offer "Data to Go," *Business Communications Review*, pp 45-51, Feb. 1991.
- [4] Johna Till Johnson, "Wireless Data: Welcome to the Enterprise," *Data Communications*, pp 42-55, Mar. 1994.
- [5] 이강영, 이동통신과 마이크로파 통신의 실무와 이론, 지다리, 1993. pp. 57-68
- [6] H. V. MacDonald, "The Cellular Concept," *Bell System Technical Journal*, vol 58, no 1, pp 15-41, Jan 1979.
- [7] L. J. Greenstein, et al., "Microcells in Personal Communication Systems," *IEEE Communications Magazine*, pp 76-88, Dec 1992.
- [8] T. P. Bursh, et al., "Digital Radio for Mobile Applications," *AT&T Technical Journal*, vol 72, no 4, pp 19-26, July/Aug. 1993.
- [9] B. Tuch, "Wireless Data Networking," *AT&T Technical Journal*, vol.72, no 4, pp 27-37, July/Aug. 1993.