

〈主 題〉

디지털 셀룰라 시스템의 요소기술

노 중 선

(건국대학교 전자공학과 조교수)

■ 차	■ 례 ■
I. 개 요	III. 디지털 셀룰라 시스템의 핵심기술
II. 셀룰라 채널 특성	IV. 결 론

I. 개 요

현대 사회가 점점 고도의 정보사회로 진입함에 따라 인간은 많은 여러가지 형태의 정보를 접하고 또 이를 처리하게 된다. 경우에 따라서는 시시각각으로 변하는 정보를 항상 접할 수 있는 수단을 필요로 하게 된다. 즉 언제, 어디서나, 누구와도 항상 통신이 가능하게 되기를 원하며 여러가지 다른형태의 통신을 원하게 된다. 그렇다고 사람이 통신수단이 설치되어 있는 곳에 항상 머물러 있을 수 없기 때문에 이러한 요구를 가능하게 하여 주는 것으로 이른바 이동무선 통신 시스템의 필요성이 점점 증대되어 그 수요가 최근 들어서 우리나라 및 선진각국에서 증가되고 있을 뿐 아니라 다양한 형태의 이동무선통신 방식이 요구되고 있다. 그중에서 가장 많은 관심을 끌고 있고 그 수요가 폭발적인 증가세를 보이고 있는 것으로 셀룰라 시스템을 들 수 있다.

그런데 정해진 주파수 스펙트럼에서 수용할 수 있는 셀룰라 가입자의 용량은 정해져 있는데, 최근 들어서 단말기의 가격 및 도수료의 인하로 인하여 셀룰라 시스템의 가입자가 급증하여, 셀룰라 시스템의 수용능력이 한계성에 도달하여 여러가지 문제를 야기시키고 있다. 특히 대도시 지역에서의 출퇴근시간 동안의 전화통화의 어려움과 통화품질의 저하 및 통화도중 전화가 끊어지는 현상 등이 그것이다. 이러한 여러가지 문제를 극복하기 위하여 우선적으로 필요한 것이 셀룰라의 시스템 용량(System Capacity)을 증가시

키는 것이다.

셀룰라의 시스템 용량을 증가시키는 방법으로는 여러가지가 있을 수 있다. 먼저 새로운 주파수 스펙트럼(Frequency Spectrum)을 셀룰라용으로 할당받는 것인데 이것은 현실적으로 어려운 점이 많고 대부분의 경우에 불가능하다. 그리고 일본의 경우처럼 25kHz 아날로그 셀룰라 채널을 두개의 12.5kHz 아날로그 셀룰라 채널로 나누어서(Analog Channel Splitting) 셀룰라의 시스템 용량을 두배로 증가시키는 방법이 있다. 세번째로는 이동무선전화 수요의 일부분을 향후 시작될 마이크로 셀룰라 서비스로 소화시키는 방법이 있다. 그리고 지금까지 많이 사용된 방법으로 셀을 작게 나누고(Cell Splitting) 또 하나의 셀을 3개 또는 6개의 섹터(Cell Sectorization)로 나누어 시스템의 용량을 증가시킬 수 있다. 셀룰라 시스템 용량을 증가시킬 수 있는 마지막 방법으로 최근들어 선진 각국에서 추진되고 있는 아날로그 셀룰라 방식의 디지털 셀룰라 방식으로의 전환을 들 수 있다.

디지털 셀룰라 방식을 도입함으로써 얻는 효과를 보면 앞서 언급한 바대로 우선 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하여 주어진 주파수 스펙트럼내에서 셀룰라 시스템 용량을 증가시킬 수 있으며 향후 도입될 ISDN과 관련하여 음성 및 데이터에 관한 여러가지 새로운 서비스를 제공할 수 있으며 점점 증대되고 있는 통신 보안문제 해결의 용이성 등을 들 수 있다. 그리고 디지털 신호처리기술 및 VLSI 기술을 이용하여 기지국과 단말기의 설치비용 및 전력의 소비를 줄

일 수 있으며 특히 작고 가벼운 단말기를 구현할 수 있다. 이러한 디지털 셀룰라 시스템의 여러가지 장점으로 인하여 최근 미국, 유럽 및 일본등의 선진국에서는 디지털 셀룰라 시스템의 도입을 위한 여러가지 기술적인 검토 끝에 시스템의 규격을 완성하여 실용화할 수 있는 단계에 와 있다.

II. 셀룰라 채널특성

셀룰라 시스템의 여러가지 핵심 기술들의 장단점을 논하는데 있어서 가장 중요한 것은 셀룰라 시스템의 채널이 어떠한 특성을 갖느냐 하는 것이다. 왜냐하면 여러가지 핵심 기술들의 장단점이라고 하는 것이, 결국은 셀룰라 채널에서 왜곡되어 도달된 전파를 복조하여 송신된 데이터를 어떻게 잘 복원할 수 있는가에 따라 결정되기 때문이다. 따라서 우선 셀룰라 채널의 특성을 분석하고 셀룰라 채널을 모델링하는 것은 매우 중요한 문제이다.

셀룰라 채널은 전파가 도시의 빌딩사이를 전파될 때 빌딩에 의해서 반사되고 또 산의 경사면에 의해서 반사되는등 여러가지의 다른경로를 통하여 수신측에 전파가 도달되는 다중경로채널(Multipath Channel)이다. 이렇게 다중경로를 통해서 도달된 전파를 수신측이 차량인 경우 수신기는 움직이면서 수신하게 된다. 이러한 상황에서 나타나는 셀룰라 채널의 특성을 여러가지로 규정할 수 있다. 먼저 직접파는 빌딩등에 가려져서 수신측에 도달되지 않고 빌딩이나 산에 의해서 반사된 반사파만이 수신측에 도달되어 생기는 레일레이 페이딩(Raleigh Fading) 현상이다. 그리고 서로 다른 전파경로를 통해서 전파가 전파될때 서로 다른 경로의 경로차에 의해서 도달된 다른 여러전파의 도착시간지연(Delay Spread) 현상을 들 수 있는데 이는 주파수 선택적 페이딩을 일으키게 된다. 일반적으로 셀룰라 채널에서 가정되는 서로 다른 경로파의 도착시간지연은 측정 결과에 의하면 대부분의 경우 5 μ sec 이내이고 최대 20 μ sec 이내라고 알려져 있다. 그리고 측정 결과로 부터 도착시간지연이 20 μ sec 이상되어 도착된 전파는 먼저 도착한 전파에 비해 20dB 이상 감쇄된다고 알려져 있다. 이러한 전파는 일반적으로 아날로그 셀룰라에서 가정하는 신호 대 간섭파의 전력비(C/I)인 17dB, 디지털 셀룰라에서 가정하는 신호 대 간섭파의 전력비(C/I)인 14dB인 경우의 간섭파보다 더작은 세기이므로 도착시간지연이 20 μ sec

이상되어 도착된 전파는 무시될 수 있다. 여러개의 서로 다른 도착시간지연을 갖고 도달된 파들은 인접부호간섭(Intersymbol Interference : ISI)을 일으키게 된다. 이러한 인접부호간섭의 정도는 전송되는 신호의 심볼구간(Symbol Period)에 반비례하고 심볼의 채널에서의 전송속도, 즉 사용되는 주파수 대역폭에 비례하므로 협대역일수록 도착시간지연에 의한 인접부호간섭 현상은 작아지게 된다. 따라서 광대역인 디지털 신호일수록 도착시간지연에 의한 인접부호간섭을 줄이기 위하여 성능이 우수한 동화기(Equalizer)를 사용해야 한다.

그리고 차가 전파를 수신하면서 움직일때 다른 경로를 통해서 도착하는 여러개의 전파들의 입사각이 서로 다르므로 서로 다른 입사파들은 다른 도플러천이를 갖게되어, 수신된 신호가 주파수영역에서 $-f_m$ 에서 $+f_m$ 까지 흩어지게 되는 소위 도플러 스프레드(Doppler Spread) 현상이 생기게 된다. 여기서 f_m 은 최대 도플러천이로 사용되는 주파수가 850MHz이고 차량의 속도가 V [mph]일때 다음과 같이 주어지게 된다.

$$f_m = 1.26 \times V \text{ (mph)} \text{ [Hz]}$$

이러한 도플러 스프레드는 시간선택적 페이딩현상을 일으키게 되어 수신신호의 세기를 감쇄시키게 되는데 최악의 경우 반파장인 약 17.5cm의 정재파(Standing Wave)가 생겨서 이곳을 차량이 통과할때 매우 빠른 페이딩(Fast Fading) 현상이 생기게 되어 수신 신호의 신호세기가 매우 빨리 변하게 된다.

도시에서 전파가 전파될때 많은 경우에 송신측과 수신측사이에 직접파의 도달경로가 빌딩등에 의해서 가려지게 되어 잔파의 수신강도가 상당히 감소되며 차량이 움직이면 수신신호의 감쇄가 천천히 변하게(Slow Fading)되는데 이를 그늘현상(Shadowing)이라고 한다. 그리고 셀룰라 채널에 전파가 전파될때 생기는 전파의 감쇄(이를 흔히 Global Mean이라함)를 들 수 있는데 전파의 감쇄정도도 지역에 따라 계절에 따라 달라지게 되고 그외에 동일 채널 간섭(Cochannel Interference : CCI) 및 인접 채널 간섭(Adjacent Channel Interference : ACI)이 있다.

Ⅲ. 디지털 셀룰라 시스템의 핵심기술

디지털 셀룰라 시스템의 도입을 위해 필요한 디지털 셀룰라 시스템의 핵심이 되는 요소 기술들을 논하기 위하여는 다음과 같은 셀룰라 시스템의 특성을 먼저 고려하여야 한다. 즉, 셀룰라 시스템은

- 1) 주파수 스펙트럼이 제한된 시스템(Band Limited System)
- 2) 전력이 제한된 시스템(Power Limited System)
- 3) 채널특성이 좋지 않은 시스템

으로 규정될 수 있다. 즉 주파수 스펙트럼은 정해져 있는데 보다 많은 가입자를 수용해야 하며 휴대형 단말기의 경우 전원으로 전지를 사용하므로 전력이 제한된 시스템으로 생각할 수 있으며, 셀룰라의 채널은 채널특성이 매우 좋지 않아서 전파의 왜곡이 심한 경우이다. 이러한 셀룰라 시스템의 특성 및 앞서 논한 셀룰라 채널의 특성을 기본으로 하여 고려하여야 할 디지털 셀룰라 시스템의 여러가지 핵심 요소 기술을 보면 아래와 같다.

- 1) 채널특성
- 2) 다원접속방식
- 3) 변조 및 복조방식
- 4) 채널부호 및 복호방식
- 5) 음성코딩방식
- 6) 암호화방식

3.1 다원접속방식(Multiple Access)

디지털 셀룰라 시스템의 여러가지 기술적인 요건 중에서 가장 중요한 요소는 다원접속방식으로, 어떠한 다원접속방식을 선택하는가에 따라 디지털 셀룰라 시스템의 용량, 구현방법의 용이성, 운영 등이 상당히 달라지게 된다. 따라서 현재 선진각국에서 거론되고 있는 디지털 셀룰라 시스템은 여러가지 다원접속방식에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 주파수분할 다원접속
- 2) 시분할 다원접속~협대역 시분할 다원접속방식
광대역 시분할 다원접속방식
- 3) 코드분할 다원접속(Code Division Multiple Access : CDMA)
- 4) Digital Speech Interpolation(DSI)을 이용한 협대역 주파수분할 다원접속

이러한 다원접속의 선택은 디지털 셀룰라 시스템의

구조 결정에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 매우 중요한 요소 기술이라 할 수 있다. 다원접속방식을 결정하는데 있어서 고려해야 할 몇가지 사항을 보면 다음과 같다. 먼저 어떠한 다원접속방식을 선택하느냐에 따라 셀룰라 시스템 용량이 달라지게 된다. 그리고 다원접속방식에 따라 기지국 및 이동국의 구현시 필요한 비용 및 복잡성이 다르기 때문에 선택의 신중성이 요구된다. 또한 미국과 일본의 경우처럼 현재 사용되고 있는 아날로그 셀룰라 시스템과의 병존성 문제를 고려하여 어떠한 다원접속방식이 현재의 아날로그 셀룰라 시스템과 같은 주파수 스펙트럼을 공유하며 Dual Mode로 운용하기에 편리한가를 또한 고려하여야 한다. 그리고 향후 디지털 셀룰라 시스템의 발전방향에 어떠한 다원접속방식이 부합되는가를 고려하여 결정해야 한다. 앞서 기술한 여러가지 다원접속방식에 대한 디지털 셀룰라 시스템에의 응용시 장단점을 보면 아래와 같다.

3.1.1 주파수분할 다원접속방식

주파수분할 다원접속방식은 주파수 스펙트럼을 여러개의 구간으로 나누어서 여러사용자가 각기 주어진 주파수 대역을 겹치지 않게 사용하는 방식이다. 하나의 송신기에서 여러개의 사용자에게 보낼 신호를 주파수대역을 나누어서 신호를 전송하고 수신측에서는 자기의 주파수대역에 있는 정보만을 골라내어 수신하는 방식을 FDM(Frequency Division Multiplexing)이라 하고, 여러개의 송신기가 할당받은 자기 자신의 주파수대역에 신호를 실어서 하나의 혹은 여러개의 수신자에게 송신하는 방식을 FDMA(Frequency Division Multiple Access)라 한다. 따라서 만일 셀룰라의 경우에 주파수분할 다원접속방식을 사용한다면 Reverse 채널(단말기에서 기지국 방향)에서는 FDMA가 사용되고, Forward 채널(기지국에서 단말기 방향)에서는 FDM이 사용될 것이다. 이를 FDM / FDMA라 한다.

주파수분할 다원접속의 장점으로는 디지털 셀룰라 시스템의 구현시 어려운 문제중에 셀룰라 채널에서 생기는 다중경로파의 도착시간지연에 의한 인접부호간섭인데 이를 극복하기 위하여 등화기(Equalizer)를 사용해야 하는데 그 구현이 경우에 따라 매우 어려운 실정이다. 그런데 이러한 인접부호간섭은 디지털 데이터의 심볼구간이 크면 클수록, 즉 사용되고 있는 채널의 주파수대역폭이 좁으면 좁을수록 일정한 도착

시간지연에 대하여 덜 영향을 받게 된다. 따라서 주파수분할 다원접속방식은 디지털 데이터의 심볼구간이 시분할 다원접속방식보다 일반적으로 크기 때문에 셀룰라 채널에서 주파수 분할 다원접속방식은 등화기가 필요하지 않은 것으로 알려져 있다. 그리고 시분할 다원접속방식에서처럼 망의 동기가 필요하지 않으면 반송파의 동기(Carrier Synchronization), 비트구간복원(Bit Timing Recovery), 프레임 동기(Frame Synchronization) 등이 용이하다. 따라서 변복조기의 구현시 하드웨어가 간단하다는 것 또한 장점이 된다.

주파수분할 다원접속방식의 단점으로는 셀룰라 단말기를 구현시에 필요한 부품중에 안테나를 통해서 단말기로 들어오는 신호와 나가는 신호를 분리하기 위한 필터로 Duplexer가 필요하게 된다. 일반적으로 안테나를 통해서 들어오는 신호와 나가는 신호 전력의 차이는 100dB 이상되기 때문에 그러한 신호를 필터를 이용해서 분리하는 것은 어려운 문제로 현재 사용되고 있는 Duplexer는 그 구현이 어려울 뿐 아니라 부피도 크고 Duplexer로 신호를 통과시킬 때 생기는 3dB Insertion Loss를 감수해야 한다. 그리고 주파수 스펙트럼을 작게 나누게 됨으로서 생길수 있는 인접 채널 간섭 또한 문제이며 이를 줄이기 위하여 채널사이에 Guard Band가 필요하게 된다.

3.1.2 시분할 다원접속방식

시분할 다원접속방식은 하나의 반송파를 여러 사용자가 공유하여 사용하면서 시간축을 여러개의 시간구간으로 나누어서 여러 사용자가 자기에게 할당된 시간구간을 다른 사용자의 시간구간과 겹치지 않게 사용하는 방식이다. 시분할방식 중에서 하나의 송신기에서 여러개의 사용자에게 보낼 신호를 시간구간을 나누어서 하나의 반송파에 신호를 실어서 전송하고 수신측에서는 자기의 시간구간에 있는 정보만을 골라내어 수신하는 방식을 TDM(Time Division Multiplexing)이라 한다. 이 경우 신호는 하나의 반송파가 동기가 바뀌지 않고 여러 사용자의 데이터를 변조하여 전송하므로 수신측에서 볼 때 반송파의 동기, 비트구간복원, 프레임 동기등이 비교적 용이하다.

시분할방식 중에서 여러개의 송신기가 하나의 반송파를 이용 할당받은 자기 자신의 시간구간에 신호를 실어서 하나 혹은 여러개의 수신자에게 송신하는 방식을 TDMA(Time Division Multiple Access)라 한다. 이 경우 송신되는 신호는 시간구간마다 송신기가

다르므로 반송파의 동기도 다르고 프레임의 비트구간(Bit Timing), 프레임 구간(Frame Timing)등이 각각 다르므로 복조기에서 반송파의 동기, 비트구간복원, 프레임동기등이 TDM방식보다는 훨씬 어렵다. 셀룰라 시스템에서 시분할 다원접속방식을 사용하게 되면 Reverse 채널에서는 TDMA가 사용되고, Forward 채널에서는 TDM이 사용될 것이다. 이를 TDM / TDMA라 한다.

시분할 다원접속방식의 장점으로는 Time Division Duplexing(TDD)을 사용하여 안테나를 통하여 들어오는 신호와 나가는 신호를 시간을 구분하여 다른 시간대를 이용하게 함으로써 주파수분할 다원접속방식에서 사용되어야 하는, 만들기 어렵고 부피도 크고 Insertion Loss도 있는 Duplexer를 사용하지 않아도 된다는 것이다. 그리고 향후의 디지털 통신시스템이 발전되고 또한 디지털 셀룰라 시스템이 진화해 가는 방향과도 잘 부합되는 것으로 미국, 일본 및 유럽의 디지털 셀룰라 시스템의 표준규격으로 이시분할 다원접속방식이 채택되었다. 그러나 시분할 다원접속방식의 단점으로는 앞서 설명한 대로 디지털 데이터의 심볼구간이 짧기 때문에 인접심볼간섭을 극복하기 위하여 등화기를 사용해야 하고, 여러 사용자들의 시간구간이 겹치지 않도록 하기 위하여 망의 동기가 필요하게 되며 Guard Time 또한 필요하게 되고, 데이터 프레임 구성시 필요한 Overhead가 커서 데이터 전송 효율이 떨어지게 된다. 그리고 디지털 데이터를 수신하여 복조하는 경우에는 반송파 동기, 비트구간복원, 프레임동기등이 필요하여 복조기의 하드웨어가 복잡하게 되는 단점이 있다.

그리고 시분할 다원접속방식은 광대역 시분할 다원접속방식(Wideband TDM / TDMA)과 협대역 시분할 다원접속방식(Narrowband TDM / TDMA)으로 나눌 수 있다. 광대역 시분할 다원접속방식은 협대역 시분할 다원접속방식에 비하여 사용되는 주파수대역 폭이 넓어서 심볼구간이 훨씬 작기 때문에 같은 도착 시간지연에 대해서 고도의 등화기를 사용해야 한다는 문제점이 있다. 미국과 일본은 협대역 시분할 다원접속방식을 디지털 셀룰라 표준규격으로 채택하였고 유럽에서는 광대역 시분할 다원접속방식을 디지털 셀룰라 표준규격으로 채택하였다.

3.1.3 코드분할 다원접속방식

코드분할 다원접속방식은 여러 사용자가 시간과

주파수를 공유하면서 각 사용자에게 Cross Correlation 이 작은 Pseudo-Random Sequence를 할당하여 각 사용자는 할당된 Pseudo-Random Sequence를 이용하여 송신할 신호를 Spreading하여 전송하고 수신측에서는 송신측에서 사용한 것과 같은 Pseudo-Random Sequence를 발생시켜서 동기를 맞추고 이를 이용하여 수신된 신호를 Despreading하여 원하는 신호를 복원한다. 여러 사용자가 신호를 전송할때 반송파 및 Pseudo-Random Sequence의 동기를 맞추어 전송하게 되는 경우를 Synchronous CDMA라 하고, 그렇지 않은 경우를 Asynchronous CDMA라 한다.

코드분할 다원접속방식은 다른 사용자의 신호가 나에게서는 잡음이 되기 때문에 모든 사용자의 전력이 수신측에서 볼 때 같아야 되는데, 셀룰라의 Reverse 채널에서는 단말기가 기지국 근처에 있을 때와 셀의 경계에 있을 경우에 두 단말기로 부터 기지국에서 수신되는 신호의 전력의 비는 통상 100dB 이상되는 경우가 흔히 존재한다. 따라서 코드분할 다원접속방식은 전파되는 신호의 Near-Far 문제 때문에 단말기에서 출력을 90dB 이상 조절(Reverse 채널 Power Control)할 수 있어야 하는데, 단말기에서의 90dB 이상의 Power Control은 실현한다는 것이 매우 어려운 문제이다. 그리고 단말기의 Power Control 회로의 오동작은 그 셀 또는 섹터내에 있는 모든 셀룰라 시스템을 Down시키게 된다는 것 또한 코드분할 다원접속방식의 큰 단점이라 할 수 있다. 수신측에서 Pseudo-Random Sequence의 Acquisition 및 Tracking의 실현을 위한 하드웨어가 대단히 복잡하며, 현재 사용되고 있는 아날로그 셀룰라 방식과의 주파수 스펙트럼 견지에서 병존의 어려움도 코드분할 다원접속방식의 단점 중의 하나이다.

그러나 코드분할 다원접속방식이 셀룰라 시스템에 사용되는 경우에 장점으로는 다음과 같은 것을 열거할 수 있다.

- 1) 아날로그 셀룰라 시스템에 비하여 채널의 용량을 크게 증가시킬 수 있다.
- 2) 음성신호를 전송할 경우 Voice Activity를 이용하여 채널의 사용효율을 높일 수 있다.
- 3) 채널의 용량이 다른 방식에 비해 융통성이 있다. 즉 사용자가 늘어나면 채널의 잡음이 증가하여 상태가 나빠지게 되지만 채널의 용량은 증가시킬 수 있다.(Soft Channel Capacity)
- 4) 전송신호가 Pseudo-Random Sequence를 사용하

여 Spreading되므로 사용자의 신호에 대한 Privacy가 어느 정도 보장된다.

- 5) Multipath Fading에 강한 특성을 갖는다.
- 6) 협대역 잡음신호에 Robust하다.
- 7) 사용자간의 채널할당이 필요하지 않다.
- 8) Frequency Planning이 필요하지 않다.

3.1.4 DSI를 이용한 시분할 다원접속

일반적으로 사람이 대화를 통하여 대화를 하는 경우에 상대방이 말을 하면 다른 사람은 통상 말을 하지 않고 상대방의 말을 듣게 되므로 평균적으로 채널이 사용되는것은 시간축상에서 볼때 50% 정도가 될 것이라는 것은 쉽게 생각될 수 있을 것이다. 그리고 사람이 말을 하는 경우에도 말의 중간에 Silence Period가 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 통계적으로 볼때 사람이 대화를 하는 경우 한사람이 채널을 사용하는 비율(Voice Activity Factor)은 약 35% 정도 이므로 이를 활용하기 위하여 대화중에 음성신호의 Silence Period를 찾아내어(Voice Activity Detection) 그러한 구간을 이용하여 다른사람의 음성신호를 전송하면 셀룰라의 시스템 용량을 증가시킬 수가 있다. 즉 음성신호를 패킷화하여 음성 신호가 존재할 때만 전송하고 Silence Period 동안에는 다른사람의 패킷화 음성을 전송하는 방식으로 이를 Digital Speech Interpolation이라 한다.

이러한 DSI를 이용하면 셀룰라의 시스템의 용량을 수배로 증가시킬 수 있다고 알려져 있으나 무성음의 경우에 Voice Activity Detection이 사실상 매우 어려운 문제이고, Silence Period 이후 음성신호가 시작될때 음성신호의 앞 부분이 잘리는 경우가 생기게 되며 데이터의 전송시에는 Voice Activity를 활용할 수 없으며 패킷화음성들의 채널할당이 매우 복잡하여 그를 위한 Control이 상당히 복잡하고 현존하는 아날로그 셀룰라와의 병존성도 문제가 된다.

3.2 변조 및 복조방식

디지털 셀룰라 시스템은 Band Limited System이면서 Power Limited System이므로 이러한 점을 고려하여, 디지털 셀룰라 시스템에 사용 가능한 디지털 변조방식을 보면 2진 변조방식으로 BPSK(Binary Phase Shift Keying)와 GMSK(Gaussian Minimum Shift Keying)가 있고 4-ary 변조방식으로는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), OQPSK(Offset Quadrature

Phase Shift Keying), 및 $\pi/4$ QPSK 등이 있다. 그 외에 TCM(Trellis Coded Modulation)과 M-ary PSK를 들 수 있다. 셀룰라 시스템에 사용될 디지털 변조방식의 선택에 있어서 가장 중요하게 고려되어야 할 사항을 보면 우선 주파수스펙트럼을 효율적으로 사용하는 변조방식을 선택해야 한다는 것이다. 각 변조방식의 주파수 스펙트럼의 효율성을 나타내 주는 척도로 Spectral Efficiency라는 것이 있는데 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\text{Transmitted Data Rate}}{\text{사용된 Frequency Bandwidth}} \quad [\text{b/s/Hz}]$$

즉 Spectral Efficiency는 주파수 스펙트럼상의 1Hz당 전송될 수 있는 데이터 전송률로서 QPSK이나 OQPSK와 같은 4-ary 변조방식이 BPSK 그리고 GMSK와 같은 2진 변조방식에 비해 2배 효율이 좋다. 디지털 셀룰라 시스템과 같이 Band Limited 시스템에서는 Spectral Efficiency가 높은 변조방식이 특히 선호된다. 예를 들면 미국의 디지털 셀룰라 시스템 표준규격에서 보면 매 30kHz 당 48kbps의 데이터를 전송하는 것으로 되어 있으므로 Spectral Efficiency가 1.6 [b/s/Hz] 이고 일본 디지털 셀룰라의 경우에는 주파수대역폭 25 kHz 당 데이터 전송률이 42kbps이므로 Spectral Efficiency가 1.68 [b/s/Hz] 이다. 유럽의 디지털 셀룰라 시스템의 경우에는 200kHz의 주파수대역폭에 271kbps의 데이터를 전송하므로 Spectral Efficiency가 1.35 [b/s/Hz]이므로 미국이나 일본의 디지털 셀룰라 시스템의 표준규격인 $\pi/4$ QPSK 변조방식이 유럽의 디지털 셀룰라 시스템의 표준규격인 GMSK 변조방식보다 Spectral Efficiency가 우수하다.

그리고 변조 후에 인접채널 사이에서 생기는 인접채널간섭을 감소시키기 위하여 송신측에서 변조된 신호를 주파수 상향변환과 HPA(High Power Amplifier)를 통과시키기 전에 Myquist Filter(Pulse Shaping Filter)를 사용하여 Sidelobe Level을 낮추어 주어야 한다. 그런데 HPA는 가격면에서 저렴하고 전력의 효율면에서 우수한 비선형 HPA를 사용하는 것이 바람직하다. 변조된 신호를 Nyquist Filter를 이용 Sidelobe Level을 낮춘후에 비선형 HPA를 통과시키게 되면 변조된 신호의 스펙트럼의 Sidelobe Level이 다시 높아지게 되는(Sidelobe Regrowth) 현상이 생기게 되므로 인접채널간섭을 일으키게 된다. 그러므로 가능한한

변조된 신호가 비선형 HPA를 통과해도 이러한 Sidelobe Regrowth가 덜 생기는 변조방식을 선택해야 한다. 그러한 변조방식으로는 진폭 Fluctuation이 되도록 작은 변조방식을 사용해야 한다. 또한 선호되는 변조방식으로 되도록 낮은 C/I(Carrier to Interference Ratio)에서 동작할 수 있는 방식이다. 또 변조방식의 선택에 있어서 고려되어야 할 사항으로는 셀룰라 시스템의 통신채널에서 어떠한 복조방식이 가능한가를 고려하여 변조방식을 선택하여야 한다.

우선 BPSK의 경우는 2진 변조방식으로 4-ary 변조방식보다 Mainlobe가 2배 크기 때문에 Spectral Efficiency면에서 비효율적이다. 그리고 진폭 Fluctuation도 매우크기 때문에 스펙트럼의 Sidelobe Regrowth로 인하여 비선형 HPA를 사용할 수 없다는 단점이 있다. 그래서 BPSK 변조방식은 셀룰라 시스템에서는 사용되지 않는다. QPSK 변조방식을 보면 4-ary 변조방식이므로 Mainlobe가 2진 변조방식에 비해 절반이므로 Spectral Efficiency가 우수한 편이나 BPSK와 마찬가지로 진폭 Fluctuation이 매우 크기 때문에 비선형 HPA를 사용하는 경우 스펙트럼의 Sidelobe Regrowth로 인한 인접채널간섭을 일으키게 된다는 단점이 있어 선진각국의 디지털 셀룰라 시스템의 변조방식의 표준규격으로 선택되지 못하였다. 또 다른 4-ary 변조방식으로 OQPSK는 QPSK와 마찬가지로 Mainlobe가 좁아서 Spectral Efficiency가 우수한 편이고 진폭 Fluctuation도 약 3dB로 비선형 HPA를 사용하는 경우에도 스펙트럼의 Sidelobe Regrowth로 인한 인접채널간섭이 문제되지 않는다는 장점이 있으나, 복조의 측면을 고려할때 셀룰라 채널과 같은 특성이 좋지 않은 채널에서는 동기복조(Coherent Detection)가 사실상 불가능하여 차동복조(Differential Detection)와 같은 비동기복조(Noncoherent Detection) 방식이 사용되어야 한다. 그러나 OQPSK의 경우는 차동복조를 할 경우 성능이 떨어진다는 단점이 있어서 미국의 디지털 셀룰라 시스템의 표준으로 채택되지 못하였다.

$\pi/4$ QPSK 변조방식은 앞서 설명한 여러가지 변조방식들의 장점들만을 고루 갖춘 변조방식으로 미국의 디지털 셀룰라 시스템의 표준규격으로 채택되었다. 먼저 $\pi/4$ QPSK 변조방식은 4-ary 변조방식으로 Mainlobe가 좁아서 Spectral Efficiency가 좋고 진폭 Fluctuation이 약 8.36dB로 QPSK보다 적어 비선형 HPA를 사용하는 경우에 스펙트럼의 Sidelobe Regrowth가 적어서 인접채널간섭이 QPSK보다 훨씬

떨 문제가 되고 디지털 셀룰라 채널에서 사용되어야 하는 비동기복조 방식인 차동복조를 사용해도 성능이 떨어지지 않아서 디지털 셀룰라에 대한 우수한 변조방식으로 인정되어 미국 및 일본의 디지털 셀룰라 변조방식의 표준규격으로 채택되었다. 그러나 실제 시스템의 구현시 $\pi/4$ QPSK는 진폭 Fluctuation이 8.36dB 보다 훨씬 크게 되어 거의 선형 HPA를 사용해야 된다고 알려져 있다.

유럽의 경우에는 미국 및 일본과는 달리 GMSK를 변조방식의 표준규격으로 채택하였다. GMSK는 2진 변조방식이라서 Mainlobe가 넓은 편이지만 데이터를 Gaussian Filter를 통과시켜서 Mainlobe를 줄일 수가 있고 스펙트럼의 Sidelobe Level도 낮출 수가 있다. GMSK는 진폭 Fluctuation이 없는 Constant Envelope Modulation이기 때문에 비선형 HPA를 사용하여도 스펙트럼의 Sidelobe Regrowth가 전혀 없다는 장점이 있고 복조방식의 경우에도 비동기복조 방식인 차동복조나 변별기를 사용할 수 있다. 이러한 이유로 해서 GMSK가 유럽의 디지털 셀룰라 시스템의 변조방식 표준규격으로 채택되었다.

3.3 채널부호 및 복호방식

채널에서 디지털 데이터를 전송하는 경우에 채널에서 생기는 데이터의 오류를 방지하기 위하여 사용하는 Error Control Technique으로 오류정정부호(Forward Error Correction : FEC)와 오류검출(Error Detection)이 있다. 오류검출은 채널에서 생기는 오류를 수신측에서 검출할 수 있는 것으로 Cyclic Redundancy Check(CRC)이라는 것이 흔히 사용된다. 오류정정부호는 채널에서 생긴 오류를 수신측에서 교정하는 것으로 Block Code와 Tree Code로 나뉜다. Block Code는 Message나 Codeword의 크기가 k 나 n 으로 고정되어 있는 경우로 흔히 지금까지 많이 사용되어온 Hamming Codes, BCH Codes, Golay Codes, Reed-Solomon Codes 등이 있다. 그리고 Tree Code는 Message나 Codeword의 크기가 Block Code처럼 정해져 있지 않고 연속적으로 Message가 부호기에 들어가면 Codeword가 출력되는 것으로 Convolutional Code가 이에 속한다. 여러가지의 오류정정부호중에 지금까지 실제의 응용분야에서 사용되어 온 것을 보면 Hamming Codes, BCH Codes, Golay Codes, Reed-Solomon Codes 그리고 Convolutional Codes(Viterbi Decoders)를 들 수 있다. 그 중에서도 Reed-Solomon Codes와 Convolut-

ional Codes(Viterbi Decoders)가 최근 들어서 가장 널리 사용되고 있는 오류 정정부호이다. 그리고 위에서 열거된 여러가지의 오류정정부호를 그대로 사용하는 경우도 있지만 많은 경우에는 오류정정부호의 Codeword 길이인 n , 부호의 Dimension인 k , 또는 Parity Check 비트수인 $n-k$ 값을 변형하여 사용하는 경우가 많다. 먼저 Shortened Code는 Block Code에서 많이 사용되는 것으로 Codeword에서 Message 비트의 수를 s 만큼 줄여서 (n, k) 부호로 부터 $(n-s, k-s)$ 부호를 만드는 방식이다. Extended Code 또한 Block Code에서 많이 사용되는 것으로 Parity Check 비트의 수를 증가시켜서 오류정정부호를 변형시키는 방식이다. 그리고 Punctured Code는 Convolutional Code에서 주로 사용되는 오류정정부호의 변형 방법으로 Parity Check 비트수를 줄여서 부호율을 바꾼다.

채널에서 오류정정부호를 사용하는 경우에 오류정정부호의 성능을 평가하는 척도로 코딩게인(Coding Gain)이라고 하는 것이 있다. 즉, 오류정정부호를 사용하는 경우에 오류정정부호를 사용하지 않는 경우보다 송신기에서 출력전력을 얼마나 절감할 수 있는가를 나타내는 것으로 아래의 수식으로 표현될 수 있다. 주어진 비트오율(Bit Error Rate : BER)에서 코딩게인 G 는

$$G = (E_b / N_0)_{\text{without FEC}} - (E_b / N_0)_{\text{with FEC}} \text{ [dB]}$$

여기서 E_b 는 디지털통신에서 비트당의 에너지이며 N_0 은 One Sided Noise Power Spectral Density이다. $(E_b / N_0)_{\text{without FEC}} \text{ [dB]}$ 는 주어진 비트오율을 얻기 위하여 오류정정부호를 사용하지 않았을 경우에 요구되는 E_b / N_0 이며, $(E_b / N_0)_{\text{with FEC}} \text{ [dB]}$ 는 주어진 비트오율을 얻기 위하여 오류정정부호를 사용하였을 경우에 요구되는 E_b / N_0 이다. 따라서 오류정정부호를 사용하는 경우에 $G \text{ [dB]}$ 만큼 송신기에서 송신출력을 줄여서 보낼 수 있게 된다.

그리고 부호율이라는 것은 Message 비트의 수를 Codeword의 비트수에 의해서 나눈 값으로 정의되는데 일반적으로 부호율은 0에서 1사이의 값을 갖는 것으로 부호율이 낮을수록 코딩게인은 증가하지만 요구되는 주파수 대역폭은 증가하게 된다. 반대로 부호율이 높을수록 코딩게인은 감소하지만 요구되는 주파수 대역폭은 줄어들게 된다. 따라서 부호율과 코딩게인사이에서 Tradeoff를 취해야 한다.

Hamming Codes는 가장 간단한 오류정정부호의 하나로 Codeword에 한 비트의 오류가 생긴 것을 정정할 수 있는 부호로 부호기와 복호기의 구현이 용이하기 때문에 VLSI 기술이 발달하지 못했던 10여년전에 많이 사용되었고, 지금도 약간의 코딩게인을 요하는 통신시스템에 사용되고 있다. 미국의 CTIA의 규격에서 Control 데이터에 사용되고 있다. BCH Code는 하나의 Codeword내에서 여러개의 비트오류가 생겨도 정정이 가능한 Multiple Error Correcting Code이다. 따라서 Hamming Code보다는 좀 더 큰 오류정정 능력을 요구하는 경우에 사용될 수 있는 오류정정부호이다. 그러나 복호가 Hamming Code보다 어렵고 하드웨어도 복잡하다. Golay Code는 (23, 12, 7)인 경우에만 부호가 존재하며 3개의 비트오류까지 정정이 가능한 부호로써 오류정정능력이 우수한 Perfect 부호이다. 비교적 복호기 하드웨어가 간단한 편이어서 여러분야에서 활용되고 있는 부호이다. Reed-Solomon Code는 Nonbinary Code로서 연집오류에 대해 오류정정능력이 우수한 소위 Maximum Distance Separable(MDS) Code이다. 따라서 연집오류가 생기는 채널인 Compact Disk, Digital Audio Tape, 그리고 Digital VCR 등에 사용되는 부호이다. 그러나 무선통신채널과 같은 Additive White Gaussian Noise Channel에서 오류정정능력이 취약해지는 특성이 있어 무선통신분야에서는 사용되기 어렵고 복호알고리즘이 복잡하여 복호기의 구현이 어렵다는 단점이 있다. 그리고 Soft Decision Decoding을 구현하기가 어려워져서 큰 코딩게인을 얻기가 어렵다는 단점이 있다.

무선통신채널은 일반적으로 Additive White Gaussian Noise Channel로서 비트오류가 연집오류의 형태로 생기지 않기 때문에 이러한 채널의 경우에 Convolutional Code가 오류정정능력이 우수하다. Convolutional Code의 복호방법중에는 Threshold Decoding, Sequential Decoding(Fano Algorithm, Stack Algorithm), 그리고 Viterbi Decoding 방법등이 있는데 복호기 성능은 Viterbi Decoder가 가장 우수하나 복호기의 하드웨어가 복잡하여 사용되고 있지 못하다가 VLSI 기술의 발달로 실현이 가능하여 최근들어서 대부분의 위성통신분야와 디지털 셀룰라에 사용되고 있으며 Reed-Solomon Codes와 더불어서 가장 응용분야가 넓은 부호이다. 특히 Viterbi Decoder의 경우에는 Soft Decision Decoding을 구현하는 것이 용이하기 때문에 코딩게인이 다른 방식에 비해서 크다는 장점이 있다. 그

리고 Puncturing에 의해서 부호율을 쉽게 바꾸어 부호율이 다른 Punctured Convolutional Code를 쉽게 구현할 수 있다. 그리고 이러한 Punctured Convolutional Code를 원래의 부호와 같은 부호기에 구현하여 Multi-Rate Codec을 쉽게 실현할 수 있다. 미국을 비롯한 일본, 유럽의 디지털 셀룰라 시스템의 채널부호에 대한 규격도 약간의 차이는 있지만 부호율이 1/2인 Convolutional Encoder와 Viterbi Decoder를 채택하고 있다.

3.4 음성코딩방식

대역폭이 3.4kHz인 아날로그 음성신호를 8kHz로 표본화하고 8비트 A/D 변환기를 이용하여 64kbps의 디지털의 음성신호로 바꾸게 된다. 이러한 64kbps의 디지털의 음성신호를 음성코딩을 이용하여 Redundant한 성분을 제거하여 여러가지 Rate의 음성신호로 바꿀 수 있다. 먼저 32kbps의 ADPCM이 있고, 16kbps의 Subband Coding이 있고, 디지털 음성신호를 10kbps 이내로 줄일 수 있는 Low Bit Rate Coding 방식중에서 디지털 셀룰라 시스템에서 관심의 대상이 되고 있는 것으로 AT&T에서 개발한 CELP(Code Excited Linear Predictive Coding)와 MIT에서 개발한 STC(Sine Transform Coding)가 있다. CELP방식은 무성음의 경우에 특성이 좋고, STC방식은 유성음의 경우에 특성이 좋다고 알려져 있다. 그리고 미국의 국방성에서 국방성 음성코딩의 표준규격으로 4.8kbps의 CELP방식을 채택하였다.

음성코딩에서는 Coding Rate와 Coding후의 음성의 질(Quality)의 견지에서 음성코딩의 성능을 평가할 수 있다. 음성코딩은 64kbps에서 어느 정도까지 Coding Rate를 줄일 수 있는가의 문제이다. 낮은 Coding Rate일수록 주파수 스펙트럼을 효율적으로 이용할 수 있으므로 바람직하나 음성부호기의 구현의 견지에서 볼때 계산량이 늘어나게 되고 또한 음성의 질도 음성 Coding Rate가 낮을수록 떨어지게 되므로 여러가지를 고려하여 결정할 문제이다. 그리고 Coding Rate가 낮은 음성일수록 채널에서 생기는 오류에 취약하여 음성의 질이 급격히 떨어지는 단점이 있다. 음성의 질은 정량적으로 결정하기에 매우 어려운 문제이다. 요즘음 음성의 질을 나타내 주는 척도로 주로 사용되는 것은 MOS(Mean Opinion Score)가 있다.

미국의 디지털 셀룰라 시스템에서는 CELP(Code

Excited Linear Predictive Coding)의 변종인 Motorola에서 제안한 VSELP(Vector-Sum Excited Linear Predictive Coding)가 표준으로 채택되었다. 음성 Coding Rate는 7.95kbps이고 음성 프레임은 20msec이다. 유럽의 음성코딩 방법으로는 RPE-LTP(Regular Pulse Excitation Long Term Prediction)가 채택되었고 음성 Coding Rate는 13kbps이며 음성 프레임은 20msec이다. 유럽의 음성코딩의 표준규격은 미국의 음성코딩의 표준규격보다 Rate가 높기때문에 음성의 질면에서 볼때 채널에서의 비트오류에 강인하다고 할 수 있다. 따라서 유럽의 디지털 셀룰라 시스템은 미국의 디지털 셀룰라 시스템보다 낮은 C/I에서 운용될 수 있으며 다시 말해서 Frequency Reuse Ratio를 높일 수 있고, 또 오류정정부호를 보다 간단한 것을 사용할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

3.5 암호화방식

무선통신은 근본적으로 유선통신에 비해 제3자에 의한 전송 데이터(정보)의 불법적인 도청, 변조 또는 삭제 등이 대단히 용이하다는 문제점을 지니고 있다. 더우기 셀룰라 시스템과 같은 무선통신은 제3자에 의한 전송되는 정보의 불법적인 도청 등이 훨씬 용이하게 이루어질 수 있다. 그러나 셀룰라분야에서는 아직 암호화를 사용하는 시스템은 없으나 최근 들어서 정보보호에 대한 요구가 선진 각국에서 중요한 문제로 부각되고 있는 실정이며 이러한 문제점을 극복하고 각 사용자들의 요구를 충족시키기 위하여 암호화를 이용하여 셀룰라 시스템을 통하여 전송되는 정보에 대한 보호는 필수불가결한 것이라 할 수 있다.

암호화의 방식은 공개키암호화방식(Public Key Cryptosystem)과 비밀키암호화방식(Secret Key Cryptosystem)으로 분류할 수 있다. 공개키암호화방식에서는 자기 자신만 아는 개인키(Private Key)와 Public Domain에 나와 있는 공개키(Public Key)를 이용하여 암호화를 하는 방식이다. 비밀키암호화방식은 송수신측에 하나의 비밀키를 사용하여 암호화하고 복호화하는 방식으로 수신측에 비밀키의 전달은 일반적으로 다른 통신경로를 이용한다. 그리고 암호화를 하는 방식에 따라 Block Cipher와 Stream Cipher로 분류할 수 있는데 Block Cipher는 일반적으로 암호화과정에서 계산량이 많기 때문에 전송속도가 빠르지않은 데이터의 경우에 사용될 수 있다. 그리고 Stream Cipher는 Key Stream을 발생시켜서 데이터와 Exclusive OR

시켜서 암호화를 함으로 암호화시에 계산량이 많이 소요되지 않아서 High Speed Data에 사용될 수 있다. Power Limited 그리고 Band Limited된 통신 시스템에 암호화를 적용할 경우에 암호화방식에 요구되는 조건들이 있다.

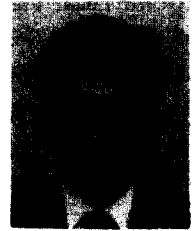
- 1)비트오류가 증가하는 것을 방지하기 위하여 암호화 및 복호화에 의한 비트 오류확산(Bit Error Propagation)을 최소화할 수 있는 방식이어야 한다.
- 2)채널의 대역폭이 증가하지 않도록 암호화를 위해 첨가되는 Redundant Bit이 최소화되는 암호화 방식이어야 한다.
- 3)높은 비도(Cryptographic Security)를 갖는 방식이어야 한다.
- 4)암호화 및 복호화알고리즘이 간단히 구현될 수 있어야 한다.
- 5)암호화시에 계산량이 적어야 한다.

무선통신을 포함하는 일반적인 통신 시스템에 사용될 수 있는 암호 시스템의 연구, 개발 및 규격화 현황을 보면 1970년대초 미국의 IBM사에 의해서 개발된 Lucifer가 있고, 1974년에 Lucifer를 개량하여 IBM사에서 새로이 개발한 암호 알고리즘이 있는데 이 알고리즘은 미국의 NBS(National Bureau of Standard)에 의해서 DES(Data Encryption Standard)라는 이름으로 명명되고 표준으로 채택되어 오늘날까지 가장 많이 사용되고 있는 암호화 알고리즘이다. 1976년에 Diffie-Hellman에 의해서 기존의 암호방식과는 다른 공개키를 이용하는 새로운 방식의 암호 알고리즘이 개발되었다. 또한 공개키를 이용하는 암호방식으로 Rivest, Shamir 그리고 Adleman에 의해서 개발된 RSA 방식과 Stanford 대학에서 연구된 ElGamal 방식이 등장하여 현대 암호이론의 근저를 이루고 있다. 그리고 미국의 Cylink라는 회사에서 Diffie-Hellman 알고리즘을 근거로 하여 SEEK라는 키관리 알고리즘을 개발하여 이를 이용한 암호장치를 제작하여 시판하고 있다. 일본의 경우를 보면 1986년에 NTT에 의해서 개발된 FEAL-8을 들 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 디지털 셀룰라 시스템에 사용되는 여러가지 핵심요소 기술 즉 다원접속방식, 변복조방식, 채널부호방식, 음성코딩방식, 암호화방식등의 장

단점을 Band Limited 시스템이면서 Power Limited 시스템인 셀룰라 시스템의 특성, 셀룰라 채널의 특성, 현존하는 아날로그셀룰라 시스템과의 병존성, 구현시의 하드웨어의 복잡성등의 견지에서 비교 서술하였다. 또한 이러한 여러가지 디지털 셀룰라 시스템의 여러가지 핵심기술 요소들이 유럽, 미국 및 일본의 디지털 셀룰라 시스템 규격에서 어떻게 선택되었는지를 논하였다. 그리고 향후 단말기의 보급추세를 보면 휴대형단말기가 차량단말기보다 훨씬 많을 것이라고 예측하는 바 단말기를 작고 가볍고 낮은 전력소비를 갖도록 구현할 수 있는 기술을 선택하는 것 또한 매우 중요한 문제이다. 최근들어서 폭발적인 증가세를 보이고 있는 셀룰라 시스템의 수요를 수용하기 위하여 우리나라에서도 조속한 시일내에 디지털 셀룰라 표준화 위원회를 구성하여 우리나라 고유의 디지털 셀룰라의 표준규격을 제정하여야 할 것이다. 그렇게 함으로서 디지털 셀룰라 시스템의 국산화를 촉진할 수 있으며 외국의 통신시장 개방압력에 능동적으로 대처할 수 있으리라 사료된다.



노 종 선

- 1959년 1월 1일 생

《학 력》

- 1977. 3.-1981. 2. 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사학위취득
- 1982. 3.-1984. 2. 서울대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득
- 1984. 9.-1988. 2. University of Southern California Dept. of Electrical Engineering 박사학위 취득(디지털통신 및 정보이론분야)

《경 력》

- Hughes Network Systems
- 1988. 2.-1990. 7.
 1. Digital Cellular System
 2. Mobile Satellite Communication system
 3. Forward Error Correction Codes
 4. Microcellular Communications
- 1990년 9월 1일-현재 : 건국대학교 공과대학 전자공학과 조교수로 재직