



단말 무선 모뎀 설계 방법

어익수 팀장_이동통신 IC설계팀, 한국전자통신연구원(E-mail : iseo@etri.re.kr)

서론

| 무선통신 표준 기술 |

디지털방식의 휴대 전화기술은 아날로그방식의 휴대전화기 사용자의 증가를 해결하기 위해 주파수 사용의 효율성을 높이고, 다양한 무선 채널 환경에서 고음질의 음성통화를 실현하기 위하여 도입되었으며 전 세계적으로 유럽에서 개발된 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식의 GSM (Global System for Mobile Communications)기술과 미국의 Qualcomm에서 개발하여 한국에서 상용화에 성공한 CDMA (Code Division Multiple Access)기술이 있다. 이 기술들은 기본적으로 실시간 음성통신을 위주로 개발을 한 것으로 지역에 따라 GSM과 CDMA 방식을 선택적으로 사용하기 때문에 두 가지 서비스가 동시에 같은 지역에서 지원되지 않는 문제점으로 인해 휴대전화의 편리성이 떨어진다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 ITU-R에서 전 세계적인 단일 기술 휴대통신 서비스를 제공하기 위하여 IMT (International Mobile Telecommunication) 2000 표준기술을 개발하였다. 그러나 유럽과 미국위주의 기업체 이해에 의하여 IMT-2000 역시 두개의 표준화 그룹이 결성되어 유럽이 주축으로 된 비동기 방식인 WCDMA (Wideband CDMA) 기술과 미국이 주축이 된 동기방식인 CDMA2000 표준으로 나뉘었다. 그러나 이 기술들은 전송데이터의 속도를 최대로 384kbps이상 지원하기 어려워 기존의 2세대 디지털 휴대전화와의 차별성이 떨어져 비동기 방식에서는 HSDPA (High

Speed Downlink Packet Access) 표준을 만들었으며 동기 방식에서는 EV-DO (Evolution Data Only), EV-DV (Evolution Data & Voice) 등의 표준기술을 만들었다.

그리고 유선 이더넷 기술을 무선까지 확장한 IEEE에서 제정한 WLAN (Wireless Local Area Network) 표준기술이 만들어져 많이 보급이 되고 있다. 이 기술은 802.11a의 표준에서는 최대 54 Mbps를 지원하고 802.11b의 표준에서는 최대 11 Mbps를 지원한다. WLAN은 PC등에 장착이 되어 무선인터넷 서비스를 지원하여 점차 큰 시장을 형성하고 있으며 이러한 성공으로 새로운 패킷방식의 표준들이 만들어지고 있다.

그러나 무선 랜 기술은 셀 영역이 100 m정도에 불과하여 서비스 지원에 불편함이 있어 이 문제를 해결하기 위하여 셀 영역을 키우고 차량 이동속도(100km/h) 정도에서 고속(1~2Mbps)의 데이터 송수신이 가능한 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) 802.16e기술과 보행 중에 고속의 데이터 송수신이 가능한 802.16d 표준이 만들어지고 있다. 한편 가까운 거리인 10 m 이내는 WPAN (Wireless Personal Area Network) 표준이 802.15에서 만들어지고 있다.

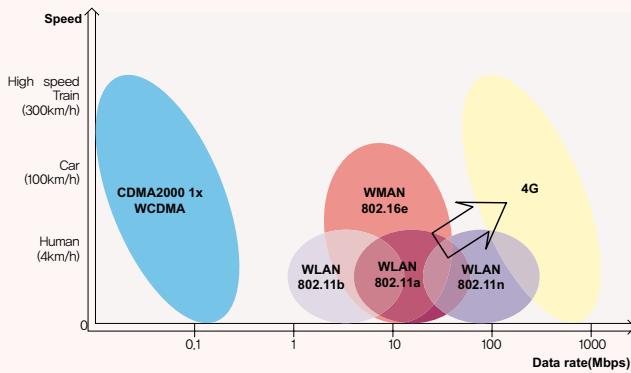
결국 무선통신 표준의 발전방향은 보다 많은 데이터를 고속 이동 중에서도 송수신이 가능하게 패킷방식으로 모든 서비스를 지원하는 것으로 변하고 있다. [그림 1]

| 무선 모뎀 송수신 기술 |

무선모뎀의 설계는 표준에서 선정한 기술을 구현하는 것이다. 표준에



[그림 1] 무선통신 표준화 동향



서 규정하는 기술은 주로 송신기능에 관한 것이며 수신기능에 관해서는 요구 성능만을 규정한다. 송신기능에서는 일반적으로 오류 시 복원이 될 수 있는 오류정정을 목적으로 길쌈부호(Convolution code), 터보코드(Turbo code), 리드솔로몬 코드(Reed Solomon Code) 등을 단일하게 사용하거나 이들 중의 두개를 이어 사용하여 오류정정 기능을 구현한다. 부호화기의 입력신호는 연속된 '1' 또는 '0'의 디지털 신호를 방지하기 위하여 스크램블러를 사용한다.

이렇게 부호화된 신호는 시간축상으로 데이터를 교환하는 방법을 통하여 연속된 오류에 대한 강인성을 키우는 인터리버(Interleaver)를 거친다. 인터리버의 출력은 심볼변조를 통하여 보다 많은 데이터를 주어진 대역폭을 이용하여 보낸다. 주로 사용되는 변조방식으로는 BPSK(Binary Phase Shift Keying), QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM 등의 코히런트 방식과 DBPSK(Differential Binary Phase Shift Keying), DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying) 등의 논코히런트 방식이 있다.

심볼변조 신호는 각 확산방식별로 CDMA(Code Division Multiple Access) 또는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술을 사용하여 신호의 대역폭을 확산시킨다. 이 신호를 확산하는 것은 하나를 보내는 것이 아니고 CDMA의 경우는 직교코드를 이용하여 여러 개의 심볼신호를 보내는 것이고 OFDM은 직교주파수를 이용하여 여러 개의 심볼신호를 보내는 것이다. 이렇게 여러 개의 심볼신호로 신호를 확산하는 것은 사용자별로 나누어 다중접속을 하기 위한 것으로서 CDMA는 직교코드를 사용자별로 나누고 OFDMA의 경우는 직교주파수별로 사용자를 나누어 사용한다. 한편 CDMA에서는 확산코

드인 PN(Pseudo Noise)코드를 이용하여 각 셀간의 구분이 가능하게 하여 셀룰러(Cellular) 시스템을 구성하게 한다. 이렇게 만든 디지털신호는 통신시스템에서 허용하는 주파수대역폭으로 제한을 시키기 위하여 대역제한 필터를 사용한다. 대역제한 필터를 통과한 신호는 보통 DAC(Digital to Analog Converter)를 거쳐 아날로그 신호로 변환을 한다. 아날로그 신호로 변환된 신호는 채널의 상황에 따라 적절한 이득을 주는 AGC(Automatic Gain Control)를 거친 후 직교주파수를 사용한 믹서(Mixer)를 거쳐 반송주파수로 올린다. 최종적으로 공기 중으로 전파시키기 위하여 전력증폭기를 거친다.

수신은 송신의 역 과정으로 이해할 수 있다. 공기 중의 신호를 안테나를 통하여 수신하여 저잡음증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)를 거친다. 이 신호에 포함된 반송주파수를 제거하기 위하여 믹서(Mixer)를 통과하며 이 때 사용하는 수신 반송주파수는 송신 측 반송주파수와의 차이가 존재한다.

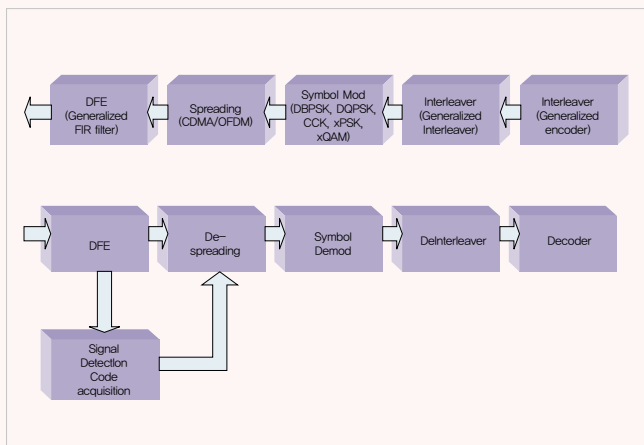
이는 단말기에서 수신 반송주파수를 만드는 것이 어느 정도 허용하는 오차 범위에서 동작하기 때문이다. 한편 이렇게 반송주파수를 제거하는 단계는 한번에 일어나거나 두 번에 걸쳐 일어나기도 한다. 이 과정에서 수신신호를 최적의 입력신호세기로 만들기 위한 수신가변증폭기가 사용된다. 이 증폭기의 출력은 ADC (Analog to Digital Converter)를 거쳐 디지털 신호로 변환된다. 수신기는 신호의 존재를 결정하여야 하며 아울러 신호의 시간 동기 및 주파수 동기를 맞추는 일을 한다. FDD(Frequency Division Multiplexing) 방식의 경우는 신호의 존재를 결정하는 과정이 없으나 TDD(Time Division Multiplexing) 방식인 경우 신호가 존재하지 않는 구간이 있기 때문에 신호를 검출을 통하여 신호의 존재를 결정한 후 시간동기를 맞춘다.

주파수 동기에서는 송신 반송주파수와 수신 반송주파수와의 차이와 단말기의 이동에 따른 수신 주파수의 도플러 이동에 의하여 주파수 불일치가 발생하며 이러한 불일치는 누적되면 CDMA 방식의 경우 확산 코드의 자기상관특성에 의하여 상관특성이 나빠져 신호세기가 감쇄되며 OFDM 방식의 경우 주파수 직교성이 무너져 인접채널 성분이 잡음으로 작용하여 신호세기가 감쇄된다.

그러므로 이러한 시간동기 및 주파수 동기를 위하여 파일럿 채널(Pilot Channel) 또는 프리앰블(Preamble) 신호를 이용한다. 한편 시간동기의 경우 단말기의 이동특성 때문에 시간에 따라 동기시간을 조절하는 것이 필요하며 따라서 주기적으로 이러한 신호의 변화를 추정하여 보상하는 것이 필요하며 이러한 보상도 파일럿 채널을 이용한다. 이렇

계 시간, 주파수 동기가 잘 맞추어 졌을 때 정상적이 수신이 이루어진다. ADC 출력신호는 CDMA의 경우 확산신호인 PN신호와 직교확산신호를 곱하여 심볼신호 만을 추출한다. 이렇게 수신한 신호는 위상오차 신호를 포함하고 있으며 이 위상오차를 제거하기 위하여 파일럿 채널을 이용한 위상추정신호를 사용한다. 그리고 무선의 다중경로 지연에 의한 신호 왜곡을 보상하기 위하여 각 경로별로 심볼신호를 각각 처리하고 이들 경로별 심볼신호의 시간지연을 보상하여 더하는 레이크수신기를 사용한다. 한편 OFDM의 경우 효율적인 직교주파수 처리기인 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 심볼신호를 만든다. 이렇게 만들어진 심볼신호에는 위상오차 성분이 남아 있으며 위상오차를 제거하기 위하여 파일럿 부반송파를 이용한 위상추정신호를 만들어 위상오차 성분을 제거한다. 이렇게 위상성분이 제거된 심볼신호는 각 변조 방식에 대응되는 심볼 복조 기능을 수행하여 비트신호로 변환한다. 이 비트신호는 복호기의 연성판정을 위하여 한 비트 값을 가지지 않고 여러 비트로 구성된 비트신호이다. 디인터리버(Deinterleaver)는 비트신호가 가진 시간 축상의 연접 오류를 흩어 놓는다. 디인터리버의 출력신호는 복호기를 거쳐 오류를 정정하여 비트신호를 결정하고 이 값을 원 신호로 다시 만들기 위하여 디스크램블(Descramble) 과정을 거친다.

[그림 2] 무선통신 송수신 기술



본론

| 무선 모뎀 설계 변수 추출 |

위의 송수신 기능을 구현하기 위하여 각 기능별로 필요한 알고리즘이 있다. 송신기능은 표준 규격을 그대로 구현하면 기능을 만족할 수 있으며 고려해야하는 알고리즘은 수신기능에 비하여 간단하다. 알고리즘은 표준규격에서 요구하는 성능을 만족하는 기준으로 선택이 되며 선택된 알고리즘으로부터 구현에 필요한 설계변수가 추출되어야 한다. 이 과정에서 모뎀의 송수신 기능은 알고리즘을 기술한 상위모델로서 구성하게 되며 표준에서 요구하는 규격을 검증하는 과정을 거쳐 구현에 필요한 알고리즘을 선택하고 선택된 알고리즘의 구현에 필요한 변수를 제공한다. 상위모델은 C, Matlab, SPW 등의 툴을 이용하며 Matlab, SPW 등으로 구성하는 경우 제공되는 라이브러리를 이용하면 훨씬 빠른 시간에 필요한 기능/성능 검증을 할 수 있다. 송신기능과 수신기능을 함께 구현하여 송수신을 동시에 검증하는 환경을 구성할 수 있고 상하향 링크의 신호구성이 다른 경우 단말부와 기지국부를 따로 구성하여 검증을 하여야 한다. 송신기능은 표준에서 요구하는 채널 구성 및 대역제한 특성을 만족하는 기능 및 성능을 만족하여야 한다. 이때 필요한 설계 변수는 송신처리 지연시간 및 대역제한 필터의 계수 및 탭 수 등이 있다. 수신기능은 표준에서 요구하는 동기획득시간 및 BER (Bit Error Rate), PER (Packet Error Rate) 등을 만족하여야 하며 이를 위하여 시간, 주파수 동기 알고리즘을 선택하여야 하며, BER, PER을 만족하기 위하여 심볼 복조, 등화기 및 심볼 연성 판정 알고리즘을 결정하여야 한다. 한편 부호에 대응하는 복호 알고리즘을 선택하게 된다. 그리고 구현 측면에서 고정소수점 모델링이 필요하며 이는 디지털 값으로 변환하여 신호를 처리하기 때문에 특히 수신기능의 경우 각 주요 기능별로 입출력 신호의 비트 수를 결정하는 것이 필요하다. 이러한 주요 결정 부분은 ADC 비트수, 심볼 복조신호의 비트 수, 심볼 연성 판정 비트수, 복호기의 비트 수 등이 있다. 기능 및 성능을 만족하는 알고리즘 및 고정소수점 모델이 결정되면 이 검증 결과를 바탕으로 구체적인 구현에 들어간다.

| 무선 모뎀 설계 |

각 기능의 설계는 해당 알고리즘모델부터 구현된 기능을 면적 및 전력면에서 효율적인 구조를 고려하여 구성한다. 이 과정에서의 예를 들



면 곱셈을 로그 영역으로 변환하여 덧셈으로 변경하여 계산하며, 제한된 입력신호를 가지고 있을 때 곱셈을 표를 이용하여 구성하며, 반복적이고 규칙적인 계산과정을 통합된 구조를 이용하여 구성하며, 최적의 특성을 보이는 알고리즘을 보다 적은 연산량을 이용한 준최적의 알고리즘을 이용하여 구성을 간단히 하는 방법 등이 있으며 이러한 방법들을 이용하여 구현 알고리즘 측면에서 구조를 결정한다. 한편 무선표준이 적용되는 환경이 유사한 경우 제안된 무선표준의 구현 기능은 몇 개의 큰 범주로 분류할 수 있으며 이러한 과정을 통하여 여러 무선 표준의 각 기능들을 통합된 하나의 구조를 이용하여 구현할 수 있다. 이것을 이용하여 여러 표준을 지원하는 통합된 단일 구조의 모뎀을 적은 면적을 사용하여 만들 수 있다. 한편 모뎀의 각 기능에서 필요한 연산량을 분석하여 많은 연산량이 필요한 기능을 병렬구성으로 구현하여 동작 주파수를 떨어뜨려 보다 저 전압에서 동작이 가능하게 만들면 사용 전력을 많이 줄일 수 있다. 이렇듯 구현 측면에서의 구현 구조 알고리즘 최적화, 다중표준 지원 모뎀 및 병렬 구조 모뎀의 구성을 통하여 면적 및 전력을 원하는 크기로 조정이 가능하다. 이 과정에서 모뎀의 성능이 고려가 되어야 하며 모뎀이 최적 구조는 전력, 면적, 성능이 고려되어 결정이 된다. 구조결정 과정에서 검증은 상위모델 과정에서 진행되었던 기능 및 성능을 만족하는 것을 확인하는 과정을 거치는 것이다. 이러한 구조모델은 C, Matlab, SPW, System C 등의 환경에서 구현이 가능하나 상위모델링 과정보다 모델의 복잡도가 증가하기 때문에 검증 시간이 많이 필요하다. 구조모델은 클럭이 고려된 상세 HDL(Hardware Description Language)모델과 같게 타이밍을 고려하여 모델링이 가능하다. 이러한 상세한 구조모델은 상세설계의 기준이 될 수 있어 상세설계의 시간을 줄일 수 있게 한다. 만약 상세 구조 모델과 상세설계가 같은 입출력신호로 검증이 될 수 있으면 상세설계의 검증 시간이 줄고 상세설계의 오류를 줄일 수 있는 설계가 가능하다. 상세설계의 검증 역시 많은 시간이 필요하기 때문에 시뮬레이션 가속기를 이용한 검증을 통하여 검증 기간을 단축할 수 있다.

| 무선 모뎀 검증 |

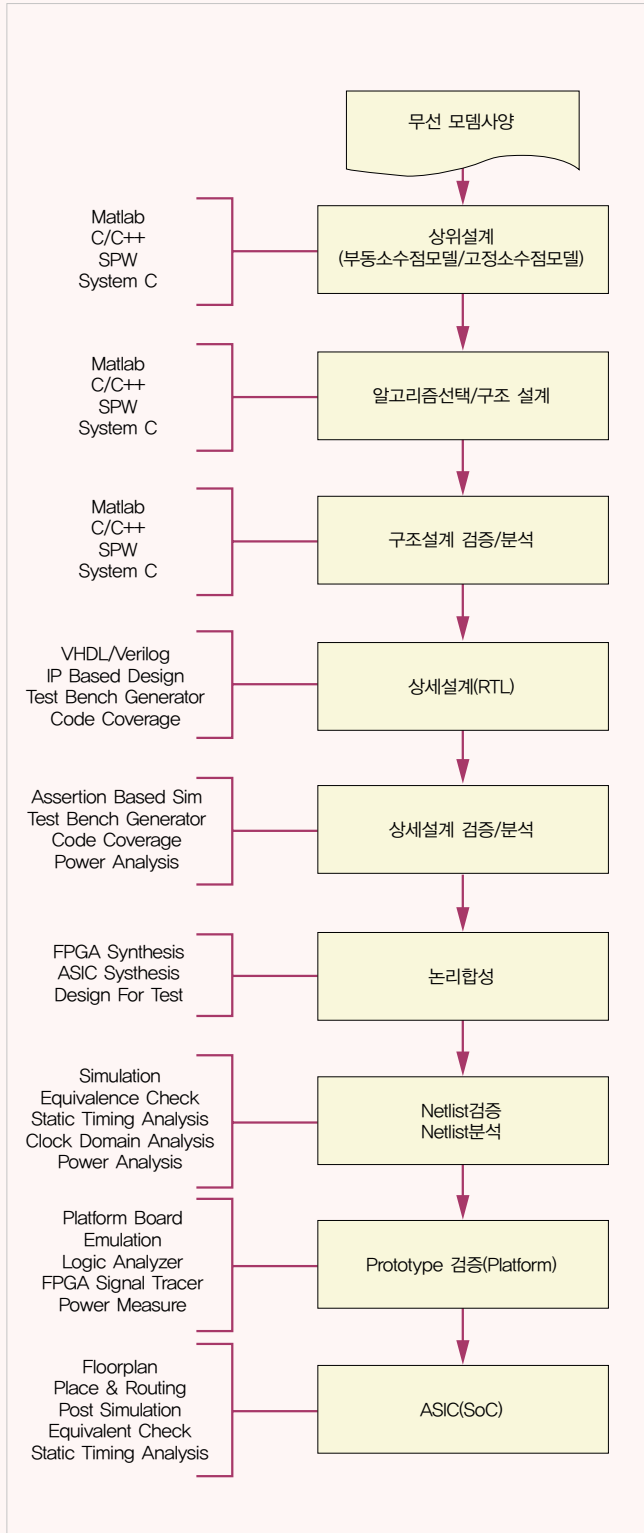
모뎀 상세설계의 검증은 구조모델을 통하여 많은 검증을 한 경우라면 오류의 많은 부분을 이미 걸렀다고 볼 수 있다. 그러나 구조 및 상세설계 단계에서 다양한 모뎀이 운영에 의하여 생길 수 있는 발생의 빈도가 낮은 경우의 동작 및 시뮬레이션의 한계에 의한 제한적인 범위의 검증으로 인한 미검증 영역을 다시 검증하는 것이 필요하다. 이러한

검증을 위하여 상세설계는 빠른 시간에 하드웨어로 구성하는 것이 필요하며 이러한 해결방안으로 실시간 동작이 가능한 FPGA(Field Programmable Gate Array) 설계 검증을 하거나 실시간 동작이 어렵지만 보다 빠른 구현 및 오류검증 기능을 제공하는 하드웨어 에뮬레이션(Emulation)을 이용한 검증을 할 수 있다. 한편 FPGA 또는 에뮬레이션 검증 환경을 이용하는 경우 모뎀을 구동하기 위한 소프트웨어를 동시에 설계 검증하는 것이 필요하다. 이 경우 모뎀 SoC (System on a Chip)를 최종적인 목표로 할 경우 SoC에 포함되는 내장 프로세서를 이용하여 검증을 하는 것이 필요하다. 이러한 실시간에 가까운 검증은 입출력 결과 신호를 빨리 얻을 수 있는 반면 검증을 위한 분석에 시간이 많이 걸릴 수 있다. 따라서 설계의 모든 신호를 다 볼 수 있는 에뮬레이션은 매우 효율적인 검증 수단이 될 수 있다. 검증 하고자 하는 단말 모뎀의 상대되는 기지국 모뎀은 계측장비를 이용한 신호생성 또는 상위모델에서 생성한 신호를 이용하여 검증을 한다. 그리고 채널의 효과는 상위모델을 이용하여 구성하거나 채널모델 장비를 이용하여 구성하여 모뎀을 검증한다. FPGA 또는 에뮬레이션 검증 과정에서는 보다 실제 모뎀 운영 환경에 맞게 검증환경이 구현하는 것이 중요한 사항이다. 따라서 이러한 환경 구현은 모뎀의 설계자 뿐만 아니라 시스템 설계자 등이 참여하여 검증의 신뢰성을 높이는 것이 필요하다.

| 무선 모뎀 IP & SoC |

개발된 무선모뎀은 다양한 무선표준을 지원하는 것이 필요하며 앞으로 개발될 무선표준에도 확장하여 적용될 수 있는 것이 필요하다. 따라서 이러한 확장성 및 유연성을 제공하기 위하여 모뎀 기능별 IP 형태로 제공되는 것이 필요하다. 무선모뎀 기능 IP로써 활용성을 높이기 위하여 각 IP에 대응되는 상위모델, 구조모델이 있으며 이 IP들은 다양한 기능 및 성능을 제공하기 위하여 변수를 이용하여 설정하는 것이 필요하다. 따라서 새로운 표준에서 필요로 하는 모뎀기능을 만족하기 위해서는 변수를 설정하여 상위모델에서 규격의 만족여부를 결정하고 규격을 만족하는 경우 구조모델에서 이에 대응되는 변수를 설정하여 구조설계를 마친다. 이러한 과정을 거쳐 최종적인 FPGA까지의 검증을 매우 빠른 시간에 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 상위모델, 구조모델, 상세설계모델에서 많은 변수를 지원하여야 하기 때문에 면적 및 전력 면에서 최적화되지 못하는 단점이 있다. 따라서 빠른 시간에 특정 표준을 만족하는 시험모델을 구성하고 이 구성의 실시간 검증을 거친 후 이를 이용하여 최적화된 특정 표준 모뎀을 개발할 수 있는 환경을 구축할 수 있다.

[그림 3] 무선모뎀 설계 과정



모뎀 SoC는 여러가지 다양한 기능들을 가지고 있으며 단말기에서 가장 핵심 기능을 하고 있다. 따라서 기본적인 모뎀기능뿐만 아니라 음성 및 영상의 코덱 기능을 수행하고 있으며 단말기의 다양한 입출력 신호를 처리하는 기능을 가지고 있다. 따라서 제품화된 모뎀 SoC는 모뎀의 기능 뿐만 아니라 여러가지 기능을 지원하여야 하며 이러한 기능의 지원은 단말기의 차별화로 나타나기 때문에 단말기 모뎀 SoC는 단말기 부품 중에서 가장 중요한 부품으로 특히 저전력화가 필요한 단말기에 사용하기 위한 저전력 모뎀 SoC 개발이 필요하다.

결론

IT SoC 분야는 유무선 통신/방송에 사용되는 SoC 부품을 제공하는 것이다. 이러한 분야의 SoC는 신기술 분야로서 사회적 경제적으로 매우 큰 파급효과를 가지고 있는 부품분야이다. 특히 이중에서도 단말 모뎀 SoC는 단일 부품으로는 가장 많이 사용되고 있으나 국제 표준 선도를 통한 부품개발이 되지 못하여 외국의 부품회사에 비하여 늦은 시간에 부품을 개발하기 때문에 이를 사용하는 제품 개발업체에서 부품을 채용하기가 매우 어려우며 아울러 핵심 특허 등을 갖지 못한 상태에서 뒤쳐져 부품을 개발하기 때문에 이미 형성된 모뎀 SoC 시장에 진입하는 것이 매우 어렵다. 그러나 이 분야는 계속 새로운 표준들이 만들어 지고 있으며 지금은 어느 정도 국내 이동통신기술이 국제표준을 선도하기 때문에 부품 개발의 기회가 좋아지고 있다. 그러나 모뎀 부품은 이동통신시스템이 전제가 되며 시스템의 개발과정에서 선도적으로 부품을 제공하는 것이 필요하기 때문에 모뎀 부품의 조기 개발 체계가 필요하다. 이러한 조기개발체계를 갖추기 위하여 가장 필요한 것은 모뎀 IP 기술이라고 볼 수 있다. 결국 검증된 IP기술을 가지고 새로운 표준을 지원하는 모뎀을 조기에 제공할 수 있으면 시스템 제조과정에서 필요한 부품을 조기에 제공하여 시스템의 개발과 동시에 단말 부품이 개발이 완료되어 부품시장을 선도할 수 있게 될 것이다.

이러한 모뎀 IP의 개발을 위하여 필요한 상위, 구조, 상세 설계의 각 단계별 모델을 구현하고 이러한 IP들을 효율적으로 검증할 수 있는 환경을 포함하는 모뎀 개발 체계를 갖추게 되면 부품의 시스템 적용 및 상용화에 하나의 표준 모델로서 앞으로 IT SoC분야 뿐만 아니라 다양한 분야의 SoC 부품 개발과정에 활용이 가능할 것이다. ☺