

단말기에서의 SDR 기술

김선영 · 강법주 · 김창주*

한국전자통신연구원
ETRI 무선방송기술연구소*

I. 요약

안테나 단에서 직접 수신 신호의 디지털화가 이루어지고 그 해당 신호의 처리는 고속 디지털 신호처리기 내에서 소프트웨어로 수행되는 방식을 SWR(Software Radio)이라 한다. 그러나 현재의 기술 수준을 감안하여 보다 현실적인 SDR(Software Defined Radio) 정의가 필요하게 되었다. SDR이란 수신신호의 디지털화가 안테나 이하의 임의의 단(IF단)에서 이루어지는 무선으로 정의된다. 물론 A/D변환기등의 기술이 더욱 발전되면 궁극적으로는 SWR로 진화될 것이다. 그러면 SDR은 왜 필요한 것일까?

현재 사용중인 이동통신 단말기의 단점은 어느 한 표준 또는 방식에 종속되어 언제 어디서나 임의의 시스템에 접속되어 사용하기에는 많은 기술 종속적인 문제 및 제약을 내포하며, 사용방식에 따른 시스템의 유연성이 없고, 상용 서비스 도중에 발생하는 단말기 문제의 해결(recall service)이 어렵고, 많은 기술료를 지불해야 한다는 것이다. 부연하면 CDMA 셀룰라의 경우 퀄컴 등의 특정한 회사에 의해 기술이 폐쇄되어, 정보의 흐름이 자유스럽지 못할 뿐더러, 이로 인해 기술진화가 보다 빠르게 진행되지 못하고, 전세계적으로 많은 새로운 우수 제품의 출현에 제약이 가해진다는 것이다. 따라서 SDR(Software Defined Radio)을 도입, 하드웨어 및 소프트웨어를 개방형 구조(open architecture)로 개발한다면 정보의 흐름을 자유롭게 할 수 있고, 이로 인하여 세계적으로 다양한 신제품의 개발이 촉진되고 결과적으로 전세계 시장이 커지

게 되는, 일석이조의 효과를 얻을 수 있게 된다. 또한 이 같은 개방형 단말기 개발의 필요성은 최근의 시장동향으로 볼 때, 기존의 단말기 회사 입장에서는 새로운 수익 모델이 필요한 시점이고, 또한 2002년경에 판매되는 단말기의 80%정도는 멀티모드타입 단말기일 것으로 예측되는 점, 그리고 금년말까지 100개 회사 이상이 SDR 포럼 멤버로 가입할 것으로 예측되는 점, 무선 인터넷의 폭발적인 성장으로 복합 멀티미디어 단말기 시대가 다가오는 점 등으로 미루어 볼 때, 고객의 서비스 가치 선택에 역점을 둔 기술을 중시해야 한다는 점에서 더욱 설득력을 지닌다.

따라서 이 같은 목적과 3세대 이동통신 및 인터넷 사용자의 증가, 반도체기술의 발전에 힘입어, 과거 군용 시스템에서 이용되던 SWR 기술을 상용 시스템 특히 3세대 이동통신에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1],[2]}. '96년 SDR 포럼^[1]이 결성되었는데, 목적은 휴대형 장치(hand-held devices), 기지국(base stations), 차량형 장치(mobile stations)를 포함하는 다중모드(multi-mode), 다중대역(multi-band) SDR을 위한 개방형 구조의 표준을 정하기 위함이다. 이같이 public forum에 의한 표준(open architecture standard)이 정해지면 그 다음은 이를 어떻게 구현할 것인가가 문제가 될 것이다.

본고에서는 먼저 SDR 단말기 요구사항을 살펴보고, 이 요구사항들을 만족하는 SDR 단말기 구조, SDR 계층참조 모델, 그리고 기존의 단말기 구조와 SDR 계층참조 모델의 연관관계에 대해 살펴보고, 크게 두가지 종류의 단말기 즉 상용 SDR 단말기와

군용 SDR 단말기에 대해 살펴보고, 설계 절차 및 현재 시점에서 단말기 구현을 위해 해결해야 하는 기술적 과제를 살펴보고 결론을 언급한다.

II. SDR 단말기 요구사항

단말기 설계에는 일반적으로 다음과 같은 주요 요구사항이 고려되어야 한다.

- 사용자 요구사항 : 소형이고, 저렴하며, 인체에 무해하고, 통신보안이 유지되고, 사용하기 쉽고, 가지고 다니기 편하며, 전력소모가 적고, 성능이 좋으며, 다양한 서비스가 제공될 것.
- 시스템 요구사항 : 동작환경(실내, 육상, 해상, 항공), 무선전파환경, 서비스접속, 서비스질(가변 전송, 음질, 지연, 응급서비스, 복수서비스 동시 이용 가능) 등을 만족할 것
- 동작 요구사항 : 시나리오 요구사항(다양한 종류의 단말기), 기능요구사항(복잡도, 핸드오버, 다이버시티 등), 성능요구사항(주파수 효율, BER, FER, 지연 등)을 만족할 것.

그러나 SDR관점에서 현재의 단말기는 downloadable하거나 reconfigurable하지 않다. 최근에 CDMA와 AMPS의 이중모드단말기, GSM SIM 및 air를 통해 파라미터의 수정이 약간 가능한 정도이다. 따라서 SDR 단말기 요구사항은 위의 요구사항에다가 여러 표준안을 컴팩트하게 구현할 수 있는 유연성(flexibility), 새로운 응용 소프트웨어를 다운로드 받아 새로운 시스템의 구성이 가능한 reprogrammability를 지녀야 한다.

또한 핸드셋과 mobile의 경우, 위의 요구사항들은 거의 동일하게 해당되지만 요구사항의 중요도에 차이가 있다. 핸드셋의 경우는 전력소모가 중시되나 mobile의 경우는 단말기의 성능에 가장 역점을 두며, 다양한 단말기가 존재하므로 여러 유형의

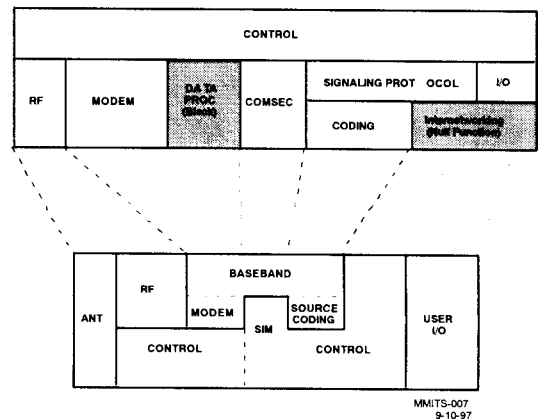
단말기규격을 수용할 수 있는 flexibility, 통신 보안 등이 우선적으로 중시되는 것이 차이점이다.

III. SDR 단말기

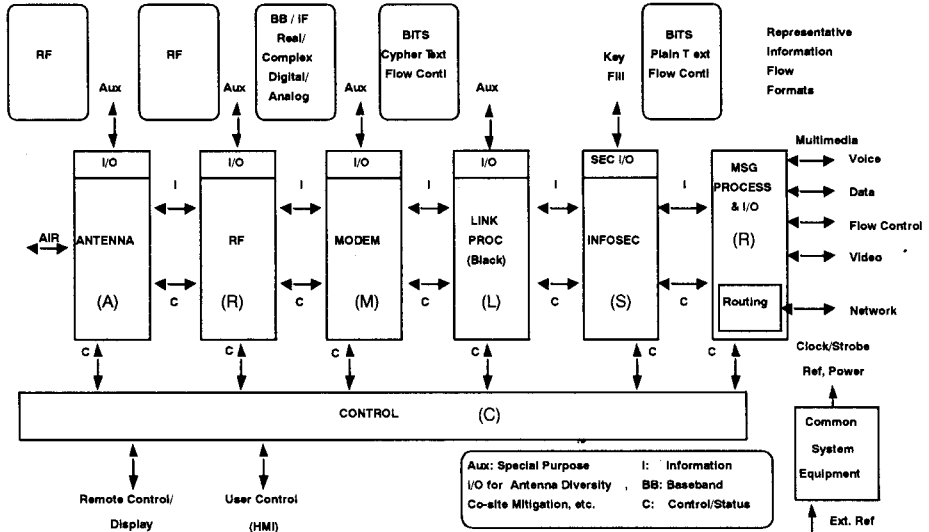
3-1 SDR 단말기 구조와 기존 단말기 구조의 매핑

SDR 단말기는 휴대형 및 mobile 단말기로 대부분 된다. SDR의 mobile은 다양한 종류의 차량형 단말기 전부를 수용하는 것으로 되어 있다. 즉 이동차량 단말기, ITS단말기, 군용단말기, 항공기전화, 선박전화 등을 모두 수용 대상으로 한다. Mobile의 경우, 가장 중시하는 성능적도는 무게, 소형화, 전력소모가 아니라 성능이다. 해당 주파수 대역도 2 MHz에서 2 GHz까지의 광범위한 대역을 대상으로 한다.

SDR단말기 기능구조(functional architecture)는 [그림 1]과 같이 기능모듈(예: RF, 모뎀, 데이터처리, 시그널링 프로토콜, 음성부호화, 입출력 모듈 등)과 각 모듈의 통신을 제어하는 제어모듈로 나뉘어지며, SDR단말기 기능구조의 이해를 돕기 위해 기존단말기(단일모드, 단일대역)구조와 매핑시켜 보면 [그림 1]과 같이 통합된 각 기능들을 모듈화로 세분시킨 것이 특징이다^[2].



[그림 1] 핸드셋 기능과 SDR 기능의 매핑 예



[그림 2] SDR 계층참조모델

3-2 계층참조모델

[그림 2]는 [그림 1]의 SDR 기능 구조에서 각 블록간에 인터페이스는 어떻게 정의되는가에 대한 SDR 계층참조모델을 나타낸다.

SDR의 경우, 각 장치는 기능모듈(예: 음성부호화 모듈, 변조모듈, 프로토콜모듈 등)로 나뉘어져 있고, 모듈간에는 정보(I)신호와 제어신호(C), 유사한 블록에 대한 외부 인터페이스 Aux에 의해 통신이 이루어지며, 각 블록간의 정보 및 제어신호 인터페이스 매트릭스는 <표 1>과 같다.

따라서 이처럼 각 모듈이 SW로 구현되고 정보와 제어신호가 정의되면 다음의 두가지 문제가 남게 된다.

첫째는 정의된 각 기능 모듈간에 어떻게 정보를 주고 받을 것인가? 즉 파라미터 데이터 베이스인 API(Application Programming Interface)를 어떻게 정의할 것인가를 결정하는 일이다. 현재까지 SDR mobile WG에서 API의 description은 CORBA와 IDL에 의해 하기로 결정하고 구체적인 API의 정

의를 진행 중이다.

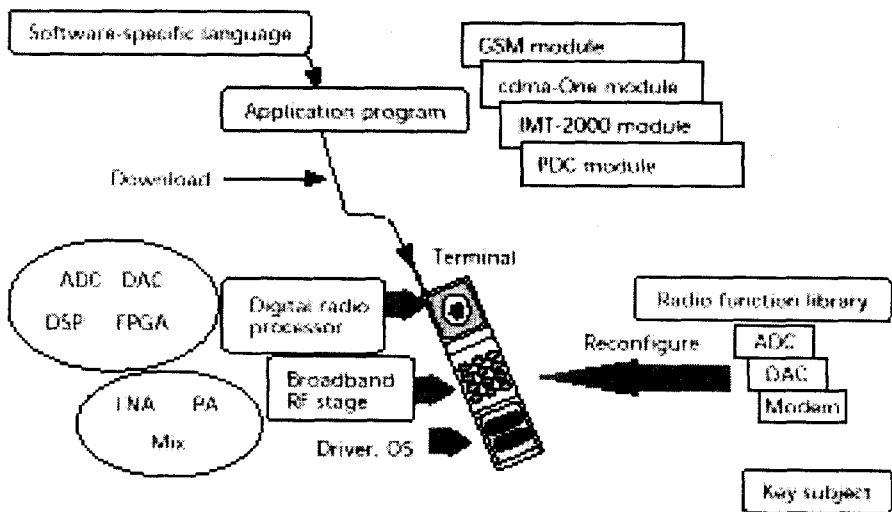
둘째는 필요한 모듈 기능을 어떻게 구성할 것인지? 즉 필요한 기능모듈을 선택하고, 제공 받는 수단인 switcher/software download가 중요한 결정사항으로 되어 있다. 이렇게 되어야 필요한 주파수, 대역폭, 변조방식, 프로토콜 등을 SW의 변경에 의해 자유자재로 변경할 수 있을 것이다. 또한 여러 업체에서 구현된 각 기능모듈의 내용 및 종류를 software로 쉽게 선택 변경 가능하게 될 것이다.

이렇게 정보 교환 방법과 모듈 선택방법이 결정되면 [그림 3]과 같은 개념의 핸드셋 단말기의 구성이 가능해진다^[4].

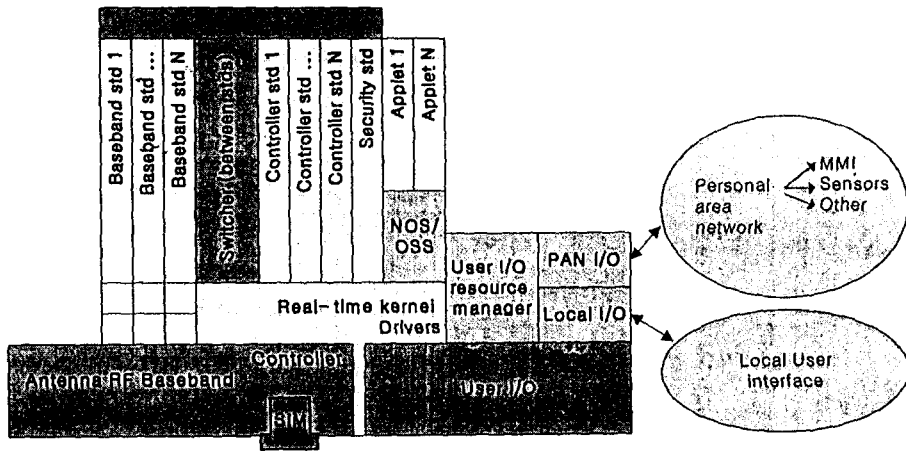
즉 SDR단말기는 library의 소프트웨어 모듈 선택을 변경하여 쉽게 기능 재구성 가능케 해주는 AP, AD변환기 제어프로그램 및 입력파라미터(변조방식, 대역폭 등) 변경을 위한 무선 라이브러리, 이동통신의 무선특성과 규격을 잘 표현할 수 있는 software specification language, 여러 표준에 사용 가능한 디지털 무선 프로세서, 서로 다른 RF규격(캐리어주파수, 대역폭, 변조방식, 송신전력 등)에

〈표 1〉 각 SW블록간 정보 및 제어신호 인터페이스 매트릭스

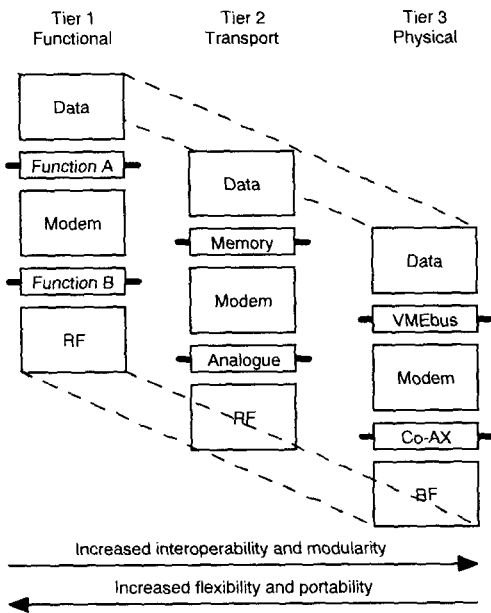
FROM:\nTO:	Air	Ant	RF	MODEM	Data Pr. (Black)	INFOSEC	Key Fill	Msg. Pr. I/O	Ctrl	Rmt. Ctrl.	HMI
Air	*	I									
Antenna	I	*	I C	C					C		
Radio Frequency		I C	* C	I C		I C			C		
MODEM		C	C	*	I C				C		
Data Processing (Black)				I C	*	I C			C		
INFOSEC			C	C	I C	*	C	I C	C		
Key Fill						C	*				
Message Processing I/O						I C		*	C		I C
Control		C	C	I C	C	I C		I C	*	C	C
Remote Control									C	*	
Human Machine Interface								I C	C		*



[그림 3] 핸드셋 SDR 단말기 개념도



[그림 4] SDR 다중서비스 핸드셋 단말기 구조



[그림 5] API 계층구조

적용 가능한 광대역 RF단으로 구성되어 있다.

[그림 4]는 이들 각각의 모듈을 선택하여 여러 시스템의 규격을 동시에 수용하는 SDR 핸드셋 단말기 구조를 나타낸다^[2].

3-3 API

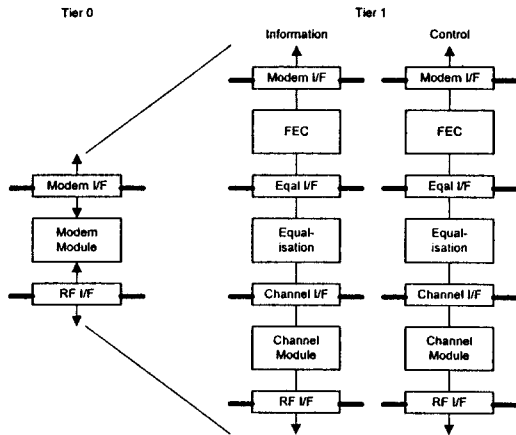
3-3-1 API

API는 간단히 인터페이스의 정의를 의미하며 좀더 세부적으로는 데이터나 제어정보의 양방향 흐름 즉 관련된 소프트웨어와 하드웨어 모듈 또는 소프트웨어와 하드웨어 모듈 각각에 대한 관계의 정의라고 할 수 있다.

API는 [그림 5]와 같은 단계별 계층구조(tier) 0, 1, 2, 3으로 정의된다.

계층 1(tier 1)은 기능레벨로서 서버에서 터미날로, 필요한 SW 모듈 기능을 다운로드 받기 위해, 초기화하는데 필요한 메시지, 관련 파라미터, 응답에 대한 정의를 나타낸다. 즉 정보흐름과 제어흐름의 구분, 메시징과 해독(interpretation)을 나타내는 기능(functional)계층으로 정의되며 상세한 메시지 선택스, 데이터 구조, 전달 파라미터, 상태정보, 기능 및 구성 테이블 구조, 내용 등은 현재 세부적으로 정의될 과제이다.

다음은 SDR 구조 중 모듈 부의 Tier 0 모델이 Tier 1 모델로 확장되는 예를 나타낸다.



[그림 6] 모뎀의 경우 계층 1의 예

계층 2는 전달레벨로서 메시지가 전달되는 매카니즘에 대한 정의 즉 정보를 교환하는 방법과 절차 즉 transport 및 통신 계층으로서 코드 다운로드 스케줄링에 사용되는 프로토콜, 에러 검출 및 수정, 실패 및 재시도 매카니즘 등이 정의된다.

계층 3은 물리레벨로서 실제 구성부품(components) 및 폼팩터(form factor) 즉 physical factors를 나타내는 계층으로 서버와 단말기간의 물리적 인터페이스(예, 스마트카드로 다운로드하기 위한 커넥터 규격)를 나타낸다. VLSI화가 점차로 가속화되는 상용 시스템에서는 Form Factor가 중요치 않으나 military나 civil applications에서 이들의 표준화는 필수적이다.

API 설계시에는 다음의 사항이 충분히 고려되어야 한다.

- API는 충분한 이해와 시험이 가능하도록 기술되어야 한다.
- 시스템 partitioning을 최대한으로 하여 합리적인 수준의 granularity를 갖도록 하여야 한다.
- Capability를 유지하며 논리적으로 확장 가능하여야 한다.

- Resource Management, Security, Timing Requirement를 고려하여야 한다.
- Capability Exchange를 지원하여야 한다.

3-3-2 Download API와 Switcher API

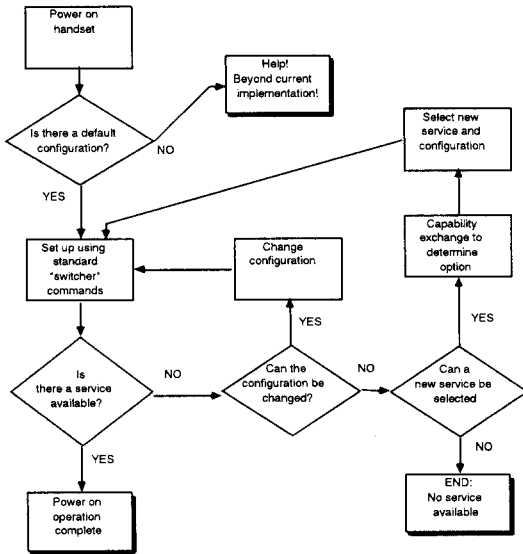
API중에서 특히 다음의 Download API와 Switcher API는 SDR 시스템 구성에 가장 중요한 역할을 한다.

Software 다운로드는 SDR 기능모듈의 동작이나 성능을 수정변경하기 위해 새로운 프로그램을 도입하는 프로세스를 의미한다. 이를 위하여 download API^[2]를 정의하는 것이 필요한데 다운로드의 일반적 절차는 초기화, 상호인증, Capability 교환, 다운로드 허용교환, 다운로드/integrity 시험, 설치, 테스트벡터에 의한 확인시험의 절차를 거친다.

또한 DVB/MHP(Multimedia Home Platform)와 MExE(Mobile Execution Environment)/WAP(Wireless Access Protocol)을 SDR에서의 Software download를 위한 protocol로 가능한 최대로 활용할 예정이며 현재 WAP포럼과 협의에 의해 진행중이다.

Switcher API^[2]는 단말기의 유형 및 설계에 좌우되며 기능레벨의 Capability 체크절차인 Regulatory, high-level configuration 정보(보코더 타입 등)인 Non-regulatory, low-level configuration 정보(waveform의 셋업 및 정의 등)인 detailed의 세 레벨로 구분된다.

[그림 7]은 mode Switcher API의 사용 예이다. Power-on 상태의 예인데, 여기서는 하나의 서비스에 따라 두 가지 루트 즉 시도 및 등록으로 구성되어 있고, 시도단계에서는 성공적인 접속을 위해, 전원을 켜면 선택된 서비스 여부를 체크하여 이를 위한 구성 파라미터를 변경한 후 서비스를 선택하고, 여의치 않으면 configuration을 변경하여 다른 서비스를 선택하고, Capability를 교환하여 새로운



[그림 7] Power-on flow의 예

서비스를 선택한다.

3-3-3 API의 description

CORBA(Common Object Request Broker Architecture)는 다양한 PL(programming languages)에 의하여 생성된 objects(SDR의 각 소프트웨어 모듈)들이 상호 연결되어 동작할 수 있도록 하여 주는 middleware로서, object간의 interface는 CORBA IDL(Interface Description Language)에 의하여 기술된다. CORBA IDL을 사용하여 기술된 object의 인터페이스는 실제 프로그래밍언어(예, C++, Java등)로 매핑시켜 주어야 한다. 이 역할은 CORBA의 IDL 컴파일러가 한다. 따라서 IDL 컴파일러를 이용하여 CORBA IDL로 기술된 인터페이스를 실제 코드로 변환시키면 Stub(클라이언트 프로그램의 요청을 ORB로 전달하는 부분)와 Skeleton(ORB로부터의 요청을 object에 전달하는 역할을 하는 인터페이스)이 기본적으로 생성되고 일반적으로 client 및 object코드가 부가로 생성된다.

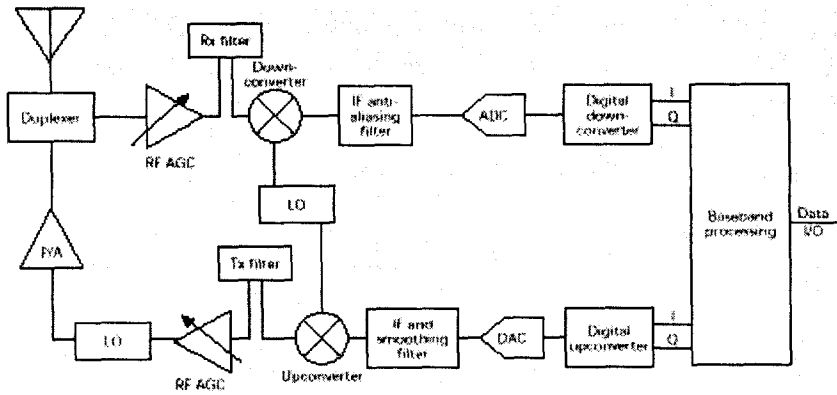
Client코드에 사용자 코드를 추가하여 프로그래밍언어 컴파일러로 컴파일하면 원하는 SDR 프로그램(client program)이 얻어진다. 이때 object는 client에서 이용하고, object가 제공하는 인터페이스의 기능이 구현되어 있어야 한다. 그 다음은 ORB Demon 프로그램을 수행시킨 후, client 프로그램을 수행시키면 SDR 단말기 기능이 수행된다. 이때 ORB Demon 프로그램의 수행의미는 client와 object간 통신을 지원하는 연결 상태를 구성하는 것이다.

IV. 상용단말기

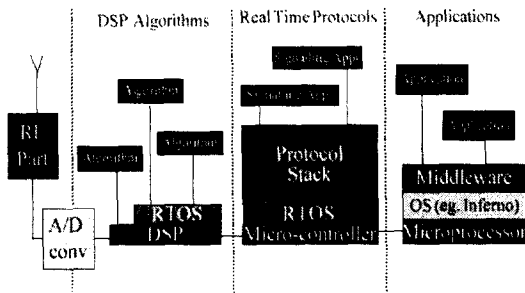
[그림 8]은 일반적인 SDR단말기 블록도를 나타낸다^[5]. SDR 단말기 설계를 위한 절차는 먼저 범형성, 다이버시티, 섹터화 등을 고려하여 광대역 안테나를 설계하고, A/D, D/A 변환기 성능을 최적화할 목적의, 광대역 SDR 수신기를 위한 RF 주파수 플랜을 하여야 한다. 이때 선형성을 중시해야 한다. 그 다음은 직접변환 수신기 및 비선형 특성을 고려한 A/D, D/A 변환기설계, A/D 변환기로부터 DSP로의 충분한 팬아웃을 고려한 광대역 interconnect 설계, ASIC 및 FPGA의 포함 여부, 알고리즘 복잡도, 처리능력(3세대 이동통신 단말기의 경우 복잡도는 1500~2000 MIPS로 예상됨)등 trade-off를 고려한 DSP 구조설계, object-oriented approach 및 실시간성을 고려한 SW설계가 순차적으로 진행되어야 한다. 최종적으로 성능 규격에 적합한지의 여부를 여러가지 기술적 사항을 근거로 체크하여야 한다.

[그림 9]는 유럽에서 2003년까지 구현할 예정인 SW radio를 이용한 단말기 구조를 나타낸다^[7].

물리계층(RF 및 기저대역신호처리), 프로토콜 및 응용계층으로 구성되며 구현관점에서 살펴보면 기저대역 신호처리부분은 현재 DSP코어 기반의 ASIC이 관건인데 구현시 SW와 HW의 분할이 중



[그림 8] 일반적인 SDR 구성도



[그림 9] SW radio에 의한 단말기 구현

요하고 공통의 멀티미디어용 OS의 사용이 필요하다. 그리고 새로운 서비스 도입을 위한 MMI 및 서비스 매니지먼트 기능, client-server 구조에 의한 응용 SW개발, SW다운로드의 integrity가 중요하다.

한편 프로토콜 측면에서 살펴보면 스택은 [그림 10]과 같이 진화될 것으로 예상된다. 프로토콜의 모듈라 구조, API의 정의가 필요하며, CORBA와 Java등 object기술이 이용될 수 있다. 미래의 구현 capability sets이 무엇인지에 대한 주목이 필요하다. 점차로 응용 소프트웨어는 platform independent하게 구현되어야 한다.

SDR의 상용 단말기의 구현에 대한 연구는 3세대 이동통신을 SDR로 구현하기 위해, 유럽의 ACTS

프로젝트중 FIRST(Flexible Integrated Radio Systems Technology), RAINBO: protocol and architectural issues for software radio 프로젝트 등이 수행된 바 있으며 ITU의 3세대 이동통신의 요구사항에도 SWR의 요구사항이 반영중이다.

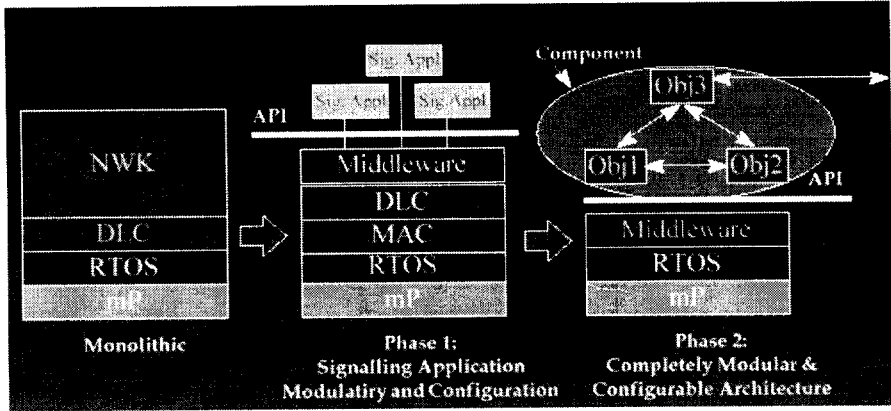
상용 핸드셋 단말기 구현의 경우, 앞서의 요구사항에 언급된 바와 같이 설계시 크기, 무게, 전력소모, 사용편이 등을 고려하여 SDR단말기를 구현할 때 다음과 같은 기술적 도전이 필요하다.

- 전력 매니지먼트 기술 및 장치 개발
- 여러 표준 시스템에 적용될 때 전력소모 감소를 위한 클럭발생 및 분배방식 개발
- 광대역 직접변환 수신기 구조 설계
- API를 포함한 효율적인 소프트웨어 구조 설계

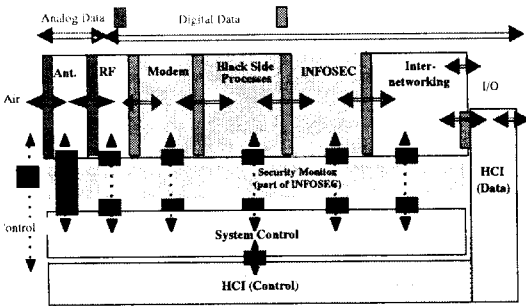
Mobile 단말기의 경우는 핸드셋의 기술적 과제와 많은 부분은 유사하지만 전력소모면에서는 비교적 제약이 덜하며 군용에서는 통신 보안성이 중시된다.

그밖에 추가적인 기술적 과제는 다음과 같다.

- 프로토콜에서 망의 이동성



[그림 10] 프로토콜 스택의 진화



[그림 11] SDRF/PMCS 복합 Software Reference Model

- 개방형 구조 API 표준 기술 개발
- 고속 국부 발진기 기술
- 간섭제거를 위한 협대역 프로그래머블 필터기술

V. 군용 단말기

[그림 11]은 SDRF와 PMCS(Programmable Modular Communications System)의 Hybrid Software Reference Model을 나타낸다. PMCS는 미국의 상무성에서 군용으로 추진하던 software radio개념의 모델로서 현재 SDR mobile WG에서는 군용과 상용시스템 둘 다를 포함하는 즉 트럭, 탱크, 비행기,

선박, 119차 등을 모두 포함하는 시스템을 추구하고 있기 때문에 미 군용의 JTRS(Joint Tactical Radio System)^[11]의 활동과 병행으로 상호간의 호환성있는 시스템 구축을 위해 노력하고 있다.

또한 군용 단말기 관련하여는 Speakeasy II^[9] 프로젝트가 있다.

VI. 기술적 해결과제

이상을 요약해 보면 SDR 기술이 상용화되기 위하여 해결되어야 하는 과제는 다음과 같다.

- 안테나 기술
- 다운로드 및 스위처 API의 효율적 정의
- 광대역 RF front end(광대역선형앰프, 가변 다운컨버터)
- 다이내믹레인지가 큰 광대역, 저전력소모 ADC의 개발(초전도등 이용)
- 프로그래머블 다운컨버터의 설계
- SW receiver 개발
- SW Architecture
- 프로그래머블 DSP코어를 기반으로 하는 고속 저전력소모 ASIC개발

- 스마트안테나, 간섭제거기술의 적용
- IPR문제의 해결

이 같은 기술이 집약되어 SDR을 위한 COTS(commercial off the shelf components), 디지털 수신기, object oriented design 및 software components, 다른 시스템과 platform의 연결등이 해결해야 할 숙제이다.

Ⅶ. 맺음말

단말기에서의 SDR 기술 및 해결과제에 대해 살펴 보았다. 단말기에서의 SDR 기술은 우선 3세대 이동통신 단말기와 군용 mobile 단말기 분야에 적용될 것으로 예상되며, 성공 여부는 표준화가 중요한 관건이 될 것이다. 따라서 향후에는 SDR의 중요성 및 비중이 더욱 높아지게 될 것이며, 전세계 어디서나 가상홈 환경에서 이 기술이 적용된 다기능, 다중모드, 지능형, 적응형 스마트 단말기의 사용이 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] <http://www.sdrforum.org/MTGS/>

≡필자소개≡

김 선 영

1985년: 한국전자통신연구원 입소, 책임 연구원

1991년~1997년: CDMA, PCS, WLL, IMT-2000 단말기개발과제 책임자

1998년~1999년: ETRI 단말기기술연구팀장



강 범 주

1988년: 한국전자통신연구원 입소

1996년: 연세대학교 전자공학과(공학박사)

현재: ETRI 무선모뎀연구팀장

[2] SDR Forum Technical Documents, ver. 2.0

[3] Joseph Mitola III, "The software radio architecture," *IEEE JSAC*, vol. 17, no. 4, pp. 574-590, April, 1999.

[4] H. Tsurumi, "Broadband RF stage architecture for software-defined radio in handheld terminal applications," *IEEE Communication Magazine*, pp. 90-95, April, 1999.

[5] Joseph Mitola III, "Technical challenges in the globalization of software radio," *IEEE IEEE Communication Magazine*, pp. 84-89, April, 1999.

[6] D. B. Chester, "Digital IF filter technology for 3G systems: An introduction," *IEEE Communication Magazine*, pp. 102-107, April, 1999.

[7] P. Carpenter, "Implementing terminal configurability in the network," *Software Workshop*, May, 1997.

[8] J. E. Gunn, "A low power DSP core-based software radio architecture," *IEEE JSAC*, vol. 17, no. 4, pp. 574-590, April, 1999.

[9] P. G. Cook, "Architecture overview of the SPEAKeasy system," *IEEE JSAC*, vol. 17, no. 4, pp. 650-661, April, 1999.

김 창 주

1980년 2월: 한국항공대학교 전자공학과(공학사)

1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1980년~1982년: ADD 연구원

1983년~현재: ETRI 이동통신서비스연구부장

[주 관심분야] 이동통신 및 방송기술

