

SDR 기술의 현재와 발전방향

김지연, 김진업

한국전자통신연구원, 이동통신연구소 SDR연구팀

I. 서 론

재구성 가능한 무선(radio)이라는 개념의 SDR (software defined radio 또는 SWR(software radio))은 이동 통신 기술의 새로운 도약을 위한 주요 기술로 고려된다. 재구성 가능한 무선이 가져다 줄 잇점은 자동 로밍(roaming) 기능의 향상뿐만 아니라 사용자의 서비스 요구에 따라 네트워크의 선택이 가능하다. 즉, 다양한 시스템 규격과 통신환경에 적응 가능한 시스템의 실현으로 통신사업자 중심의 서비스 제공에서 서비스 이용자의 요구에 의한 차별화 된 서비스 제공으로 패러다임이 변화될 것이다^{[1],[2]}.

SDR Forum에서는 SDR의 주요 기능 및 기술의 파악 그리고 표준화 활동을 하고 있으며, 신호처리관점, 규제관점, 4G(generation) 관점에서 SDR 기술을 정의하고 있다. 첫번째로, 신호처리관점에서의 SDR은 수신된 신호의 디지털 처리부를 안테나단 쪽으로 최대한 가깝게 두어 고정된 기능의 하드웨어 처리를 축소하고 부분적으로 프로그램 가능한 하드웨어 부분을 확장하여 증대된 소프트웨어 프로그램 능력을 이용함으로써 시스템의 유연성(flexibility)을 증대시키는 무선 기술로 정의한다. 즉, ASIC의 고정된(fixed) 하드웨어 처리에서 FPGA와 DSP 같은 프로그램 가능한 하드웨어로의 교체를 의미한다. 둘째로 규제관점에서의 SDR 기술은 유한 주파수 자원의 효율 증대를 위하여 무선 주파수 방출에 영향을 끼치는 주파수 동작범위, 변조 방식, 최대 출력 등 동작 파라미터들을 하드웨어 구성요소의

교체없이 소프트웨어 변경에 의하여 조정이 가능하도록 하는 무선기술로 정의한다. 마지막으로 4G 시스템 관점에서는 현재 ITU-R에서 추구하는 4G 시스템 발전 방향에 중점을 두어 다양한 무선 네트워크(WLAN, WPAN, 셀룰러, 디지털방송, 위성통신 등) 구성요소의 동작 모드들이 시스템 제조 후 소프트웨어 다운로드에 의하여 변경되거나 성능향상을 기대할 수 있는 무선 기술로 정의 내리고 있다.

SDR은 개방형 구조와 모듈화된 단일 하드웨어 플랫폼 상에 객체지향구조의 응용소프트웨어를 다운로드하여 끊임없이(seamless) 전역(global) 통신이 가능하게 하는 기술로 기존 시스템(legacy system)과의 역호환성(backward compatibility) 제공과 All-IP 기반 무선 멀티미디어를 추구하는 차세대 시스템(4G(generation) 이동통신)의 무선망 통합을 위한 해결 방안으로 고려되고 있다. SDR 기반 시스템은 무선 통신환경의 변화에 시스템 알고리즘을 변경시켜 QoS(quality of service)를 보장하며, 데이터 전송량에 따른 시스템 모드 변경에 유용할 것이다.

SDR 기반 시스템의 추구방향은 다양한 무선 시스템 규격에 따라 시스템 변경이 필요한 기존의 시스템과는 달리 다양한 무선 시스템 규격에 적용이 가능하고 사용자, 통신사업자, 제조업체들에게 시스템 간의 상호 운용성(interoperability), 제품 수명의 최대화, 개발기간의 최소화, 디버깅의 간소화 등과 같은 잇점을 제공함으로써 미래 지향적(future-proof) 시스템을 구성할 수 있도록 하는데 있다. SDR의 재구성능력(recon-

figurability) 및 소프트웨어 다운로드 기술은 시장성, 실시간 시스템 업그레이드, 디버깅 및 서비스환경에 따른 시스템 모드의 적절한 배치가 가능한 특성으로 무선통신기기 이외에 유선모뎀, 네트워크 기기, 정보가전 등 다양한 분야에 적용하기 위한 연구가 진행 중이며 칩 효율성 향상을 위해 재구성 컴퓨팅(reconfigurable computing) 및 고도 분산 처리에 대한 연구가 컴퓨터 분야에서 관심을 끌고 있다. 본 고에서는 SDR 시스템 개발의 중요성을 세계의 SDR 개발 동향 및 프로젝트를 통하여 살펴보고, SDR 시스템 구축을 위해 요구되는 시스템 요구사항 및 기술의 발전 방향에 대하여 알아본다.

II. 세계의 SDR 시스템 접근 방향

SDR 기술의 시작은 군용 이동통신 시스템 적용에서 시작되었다. 즉, 군의 작전 수행시 언제, 어디에서나 시스템 변경 없이 아군의 통신 시스템과 끊임없이 연속 통신이 가능하며 자연 재해 및 전시 상황 등으로 인하여 군용 통신 네트워크의 이용이 불가능할 경우에는 민간 통신 네트워크를 이용하여 통신이 가능하도록 하는 시스템 구축의 필요성에서 출발하였다. 초기 SDR 기반 시스템 연구는 군용 통신 규격에 맞는 시스템 개발에 한정되었으나 미군 DARPA가 주관하였던 SPEAKEasy 프로젝트 시연 성공 후 경제적 이익을 얻을 수 있는 차세대 기술로 고려되어 상용화로의 연구가 시작되었다. 다음은 미국과 유럽 그리고 아시아의 SDR 관련 연구 흐름 및 진행 정도를 프로젝트 중심으로 알아보려고 한다.

1. 미국의 SDR 시스템 접근

미국에서의 SDR 기술의 접근은 단일 시스템을 기반으로 다중무선 규격 처리가 가능한 군용 시스템 구축에서 시작되었다. 재구성이 가능한 소프트웨어 특성을 이용하여 하드웨어 제어 기술의 발전을 확장하고, 시스템 내에 증가된 소프트

웨어 프로그램 동작에 의한 시스템의 유연성의 증대에 주관심을 가졌다. SDR 기반 군용 시스템의 상용화로의 접근은 스펙트럼 사용률과 효율성 증대라는 측면에서 주요 관심을 갖고 진행 중이다.

〈표 1〉은 미국에서 진행된 SDR 프로젝트들을 설명하고 있다. JTRS(joint tactical radio system)의 JPO(joint program office)의 산출물인 SCA(software communication architecture)는 하드웨어와 소프트웨어 구조에 대한 공통 개방 구조를 정의하여 표준화 단계로 접어들고 있다. JPO는 2002년 하반기부터 SCA v2.2를 기반으로 군용 차량 장비의 구축을 계획하고 있으며 SCA 규격을 바탕으로 상용화 시스템 개발 가능성 입증을 위한 테스트베드 구축이 진행되고 있다. FCC에서는 SDR 기반 시스템의 상용화를 가속화 시키기 위하여 SDR 표준화 활동을 진행중인 SDR Forum에 SDR 기술의 전망과 시스템 구축을 위하여 정부가 지원해야 할 규제 관련 자료를 요청하여 현재 상호 보완적으로 활동중이다.

2. 유럽의 SDR 시스템 접근

유럽의 SDR 연구는 미국과 같은 군용 통신 시스템 구축이 우선시 된 것이 아니라 상용화 시스템 구축을 목적으로 하는 연구가 정부 지원하에 시행되고 있다. 1994년부터 시작된 SDR 관련 프로젝트들은 미국의 JTRS와 같이 독보적인 프로젝트로 존재하지 않고 국가별로 다양한 방식으로 SDR 시스템 구축에 접근하고 있다. 유럽 내에서는 현재 표준화된 시스템의 개발 및 상용화 문제에 관심을 더욱 기울이고 있다.

1997년 3월부터 유럽 위원회(EC)의 주관으로 SWR 워크샵을 처음 개최하였고, 1998년 6월에는 SDR Forum과 함께 국제 워크샵을 개최하는 등 활발한 활동을 하고 있다. 또한 EC의 주관으로 진행되고 있는 IST내 프로젝트들은 4세대 이동통신 기술의 발전을 위하여 통합된 서비스 제공이 가능한 기술로 SDR을 고려하여 연구가 활발히 진행중이다. 〈표 2〉는 유럽에서 진행되고

〈표 1〉 미국의 SDR 프로젝트

프로젝트명	개발기간	주요 내용
<i>SPEAKeasy</i>	1992~2002	프로그램화 된 군용 개방 구조의 실현 Military/Civil/Commercial용의 HW/SW규격 정립 Quad TMS320C40 MCM+FPGA 이용 개방형 HW/SW 구조 추구(PCI 버스 이용)
<i>GloMo</i>	1994~2000	높은 데이터 율, 고용량, 저전력 무선 통신 시스템 구축 저전력 손실과 고속 동작을 위한 FPGA의 사용 Network 측면 고려
<i>RDRN</i>	1994~2000	DSP 컴포넌트 및 변조 방식 개발과 디자인 세분화된 전체 시스템 구조 연구 효율적인 MAC 프로토콜 연구
<i>WINGS</i>	1995~2000	Ad-hoc 이동 네트워크 프로토콜 향상 Radio API 개발 Unix simulation 환경
<i>SUO/SAS</i>	1999~2002	적용 다중기능 통신 적용 네트워크 분산 정보관리
<i>JTRS</i>	1996~2003	음성 또는 음성과 데이터 통신 상업적 규격에 기초한 객체지향소프트웨어 구조 2001. 11. 17 SCA ver. 2.2 발표→SDR Forum의 상업적 모델 을 위한 규격 SRA의 모델

〈표 2〉 유럽의 SDR 프로젝트

프로젝트명	개발기간	주요 내용
ASILUM	2000. 01~2001. 12	기지국과 터미널에 대한 새로운 transceiver 개념의 유효성 확인 FDD와 TDD에 대한 링크 레벨 evaluation 플랫폼의 개발
METRA	2000. 01~2001. 06	적용 기지국 안테나 배열과 조합된 이동 터미널에서의 실현가능성 분석과 다중 요소 적용 안테나의 동작 평가 MIMO matrix radio 채널 측정 실험, 공간 시간 코딩과 실시간 디코딩 소프트웨어 동작의 개발
MOBIVAS	2000. 01~2002. 06	다운로드 가능한 SDR 부가가치 서비스를 위한 집적화 된 응용 구 조의 유효성 정의, 디자인, 개발, 입증 TINA/CORBA 원리와 새로운 무선 기술들의 조합에 의한 기존 네트워크 기술에 중단없고 효율적인 서비스 제공이 가능한 모듈러 네트워크 요소의 개발
PASTORAL	2000. 01~2001. 06	3G 이동 터미널 기저대역 개발을 위한 재구성 가능한 실시간 플랫 폼 제공 단말기에 대한 SDR 구조의 정의, 하드웨어 모델에 연속하는 시뮬레 이션 모델의 동작, 응용과 프로토콜 다운로드, UE의 재구성력에 의 한 구조의 타당성 입증

프로젝트명	개발기간	주요 내용
SODERA	2000. 01~2001. 12	알맞은 무선 구조 정의 및 구현 가능성 입증/단말기 시장성 고려 Multimode covering : GSM(900 & 1800, GPRS&EDGE) /IS95/UMTS CDMA & TD-CDMA (W-CDMA & TD-CDMA)
TRUST	2000. 01~2001. 12	재구성이 가능한 무선 시스템의 상용화 가능성 실현 재구성 가능한 플랫폼에 대한 사용자 필요성 뿐만 아니라 시스템에 대한 요구 사항들의 정의 및 평가 정의된 요구 사항들에 관련된 모든 무선 주파수 구조, 회로, 기저대역 구조, transceiver 알고리즘(변조 방식과 프로토콜), 전력 제어, scalable 비디오 코딩, 그리고 전송 플랫폼에 대한 문제 연구
WIND-FLEX	2000. 01~2003. 06	낮은 이동성이 요구되는 실내 환경에서 인터넷에 무선접속을 제공하고 single-hop, ad hoc 네트워크에서 동작하는 높은 비트율의 유연하고 실현 가능한 모뎀 구조 제안 RF/IF, 기저대역, 그리고 네트워크와 터미널 연결성의 시뮬레이션

있는 프로젝트에 대하여 설명하고 있다. 네덜란드의 Twente 대학에서는 SDR 기술을 하드웨어 플랫폼에 대하여 유연성과 재구성 능력을 제공할 수 있는 잇점에 초점을 맞추어 HiperLAN/2와 Bluetooth 시스템이 하나의 플랫폼에서 동작하는 시스템을 개발 중에 있다.

유럽에서 바라본 SDR은 소프트웨어로 동작하는 무선이라고 SDR 기술을 정의했던 초기 SDR Forum의 관점보다는 확대된 개념으로 재구성 가능한 무선 시스템과 네트워크 접근 방식으로 정의 내리고 연구를 진행하고 있다.

3. 아시아의 SDR 시스템 접근

아시아의 SDR 연구는 미국과 유럽에 비해 미온적이거나 최근 싱가포르, 타이완 등 여러 회사 및 연구소에서 SDR 기반 테스트베드 연구를 진행하고 있다. 일본은 SDR 기반 프로토타입 개발을 위한 연구가 정부 주도로 활발하게 진행되고 있으며 현재 일본에서 접근하고 있는 SDR은 현재 사용되고 있는 시스템에 관계없이 시스템 전체를 교체해야 하는 revolution 관점(NTT DoCoMo와 J-Phone)과 현재 상용 시스템(cdma2000)을 점진적으로 업그레이드하는 evolution(KDDI) 두 가지 방향으로 고려하고 있다. 초창기 일본의

SDR 기술의 연구는 ARIB(Association of Radio Industries and Business, 전파산업회)의 소프트웨어 무선 조사 검토회에서 1996년도부터 SDR에 관한 기술과제, 시장 전망, 표준화 항목 등에 대한 조사 실시로 시작되었다. 1998년에는 IEICE(Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) 내에 SDR study group을 결성하여 SWR 기반 무선 시스템의 실현이라는 목표를 가지고 연구를 진행하고 있으며 2001년부터 SDR Forum과 연계하여 일년에 한번 일본에서 국제회의를 갖는 등 활동의 폭을 넓히고 있다.

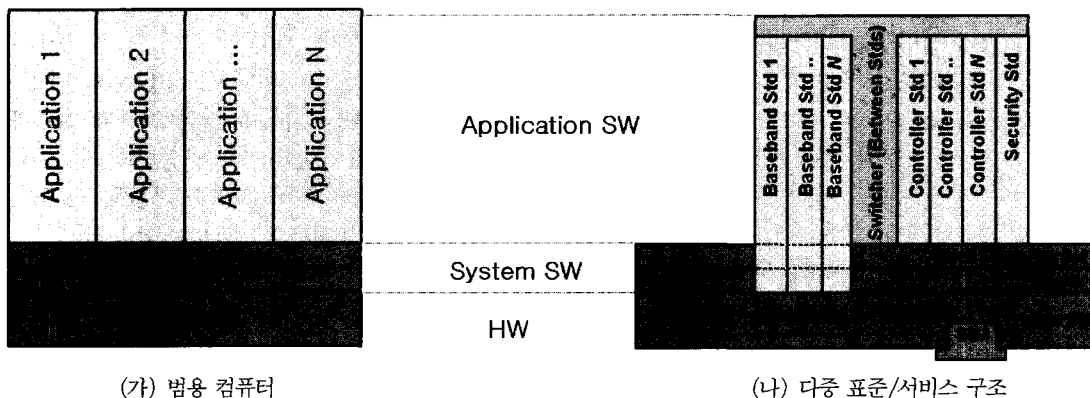
4G 시스템 개발에 착수하려 하는 우리나라에서는 SDR 기술에 대한 관심이 크게 증대되어 각 대기업 및 벤처 기업에서는 3G 이동 통신 시스템의 SDR 개념 적용에 대한 연구를 진행하고 있고, 학계에서는 SDR 시스템 설계를 위하여 요구되는 기반 기술 연구에 주요 관심을 보이고 있다. 현재 정보통신부의 전파연구소에서는 SDR Regulatory 관련 업무를 담당하고 있으며, 한국 정보통신기술협회(TTA)에서는 SDR 연구회를 구성하여 SDR의 연구 방향 제시 및 표준화 이슈에 대한 검토를 진행중이다.

III. SDR 기반 시스템 요구 기술

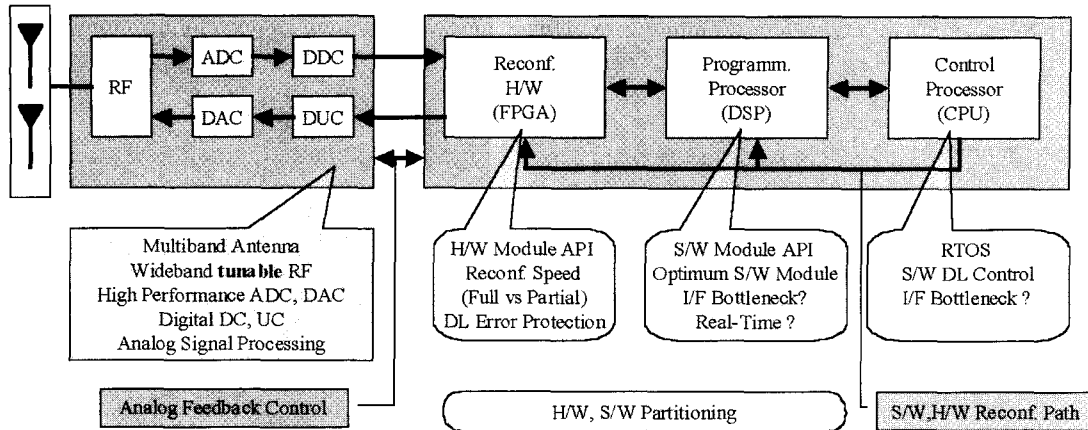
21세기 다양한 무선 통신 방식에 유연하게 대처할 수 있는 재구성 가능한 무선장치의 필요성의 대두로 등장한 SDR 기술은 무선망 융합, 유무선 통합, 방송, 통신 융합의 시대에 대처하여 고객중심의 서비스를 제공하는 차세대 이동통신 핵심 기반 기술로 고려되고 있다. 아날로그 하드웨어 구조에서 구현하기 어려운 시스템 구성 요소들을 프로그램화 함으로써 쉽게 구현할 수 있고 무선 채널 환경에 따른 무선 자원의 동적 적응 제어가 가능하도록 하는 특성을 갖는다. 즉, 응용 프로그램 다운로드에 의해서 현장에서 재프로그래밍 가능한 유연한 통신 장치를 제공하는 SDR 기반 시스템은 이동통신 기술의 디지털화 증대와 컴퓨터 통신의 무선화에 따라 이동통신은 점점 더 컴퓨터와 같이 하드웨어에 의존적이지 않고 소프트웨어에 의한 유연한 적용이 가능한 특징으로 퍼스널 컴퓨터와 무선 기술의 융합으로 생각할 수 있다^[3]. <그림 1>은 범용 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어 구조와 다중 표준, 다중 서비스를 제공하는 단말기의 하드웨어/소프트웨어 구조를 비교한다^[4]. 각 서비스에 대한 기저대역(baseband) 동작은 시스템 소프트웨어 계층과 하드웨어 계층을 직접 인터페이스하여 소프트웨어 처리에 의해 발생하는 전력 소모와 동작 속도

단점을 줄이는 구조로 규격 및 서비스 변경은 서비스 교환기(service switcher)와 제어기(controller)에 의해서 수행된다.

다중모드, 다중표준, 다중대역, 다중기능 서비스 제공이 가능한 SDR 기술의 실현은 개방구조 특성을 갖는 하드웨어 플랫폼 구성에 있다. 다중대역 처리를 위하여 <그림 2>와 같이 대역폭의 가변이 가능한 광대역 RF 소자 기술이 필요하며, 다중기능, 다중모드 등의 서비스를 위하여 재프로그램 가능한 DSP/FPGA(field programmable gate array) 디바이스의 이용이 필요하다. 재프로그램 가능한 디바이스를 이용한 개방화된 시스템 모듈 디자인 기술을 바탕으로 선형 특성을 갖는 PA(power amplifier)/LNA(low noise amplifier), 빠른 표본화율과 고해상도를 제공할 수 있는 광대역 A/D, D/A 변환기 등 상용화된 제품 개발(COTS: commercial off the shelf)이 요구되며, 시스템 기능의 분할 및 모듈화로 새로운 시스템 및 기존 시스템의 적용이 가능하여야 한다. 이러한 구조는 고속 디지털신호 처리기(DSP), 재구성 가능한 FPGA를 사용하여 기저대역에서 재구성 가능한 신호를 RF/IF 단으로 직접 천이하는 광대역 RF/IF단 적응 신호처리를 위한 직접변환 기술 및 대역변환 기술, 디지털 IF단의 고속 신호처리 기술에 대한 연구가 수반되어야 한다. 경쟁력 있는 COTS 소자를 이용한 다중 모드, 다중 규격, 다양한 기능의 서



<그림 1> 범용 컴퓨터와 다중 표준/서비스 단말기의 H/W, S/W 구조 비교



<그림 2> 다중 표준/서비스 SDR 시스템 구조

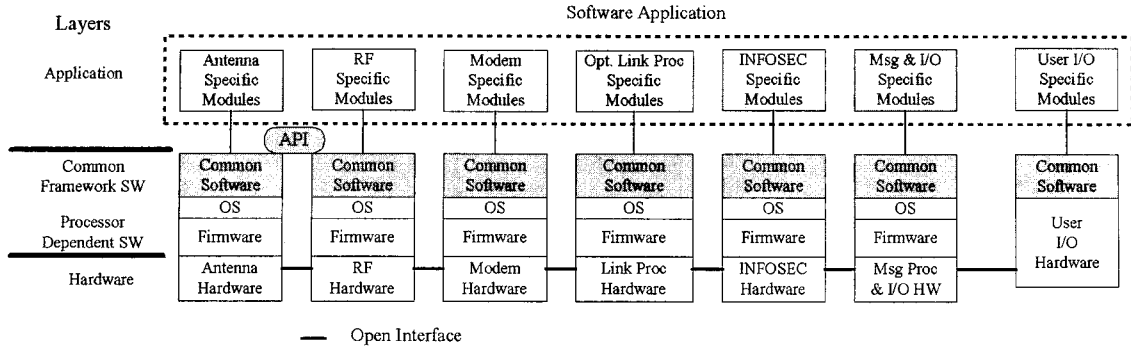
<표 3> FPGA와 DSP 소자의 특성

분 류	FPGA	DSP
프로그래머	VHDL	C, Assembly
성능	디자인 방식에 따라 고속	DSP 클럭 속도에 의존적
수정 가능성	SDRAM구조의 FPGA는 수정 용이	메모리 프로그램 수정을 통해 가능
수정 방법	칩에 구성 데이터 다운로드	메모리상의 다른 위치에서 프로그램을 읽어 들임
우수 영역	FIR/IIR필터, 상관기, FFT 등 파라메타 기반 병렬처리 알고리즘	디지털 변복조, Interference Canceller, Channel Coding 등 논리적 연산 기반 순차적 알고리즘
소비전력	설계에 따라 최소화 가능	메모리 크기가 같으면 프로그램 길이와 상관없이 전력소모 일정
MAC 실현방법	병렬 곱셈기/덧셈기	MAC 함수의 반복 수행
MAC 속도	병렬구조를 사용하면 고속 가능 필터 구현시 distributed arithmetic을 사용하면 tap수에 관계없음	DSP칩의 MAC 처리 성능에 좌우
병렬화	성능 향상을 위해 병렬화 구조 접근 가능	일반적으로 sequential 프로그램에 적합한 구조로 병렬화 처리 어려움

비스 제공을 위해서는 광대역 듀플렉서, Synthesizer, tunable 필터와 선형성이 우수한 증폭기 및 믹서 등의 RF단의 모듈화 기술이 요구된다. 기저대역 모듈은 고속의 DSP, 재구성 가능한 FPGA, 저전력 광대역 PDC(programmable down conversion)/PUC(programmable up conversion), 하드웨어와 소프트웨어 간 표준화된 인터페이스 정의가 필요하고, 효율적이며 유

연한 시스템 설계를 위하여 DSP/FPGA/ASIC 소자의 특성에 의한 시스템 기능의 적절한 분배가 요구된다. <표 3>은 이러한 FPGA와 DSP 소자의 특성을 알아보고 이에 알맞은 시스템 처리영역에 대하여 설명한다.

서비스 플랫폼의 교체 없이 사용자 요구에 따라 혹은 무선 채널 환경 변화에 신속하게 서비스 변경이 가능하도록 자원의 효율적 관리를 위하여



〈그림 3〉 SDR Forum이 제시하는 소프트웨어/하드웨어 개방 구조 동작 예

적용 개방형 구조 객체지향 미들웨어를 이용한 통신 소프트웨어 구조 기술이 요구되며, 또한 객체지향 SW 구조를 기반으로 시스템 모듈 변경이 가능하도록 모듈간 정보/제어 인터페이스(API: application program interface) 정의가 필요하다. 시스템 기능 모듈들은 독립적으로 동작할 수 있도록 각 모듈들을 라이브러리화하여 개방 인터페이스에 의해 연결되고, 각 모듈에 특정 동작을 할당하기 위한 소프트웨어 동작이 요구된다. 이러한 시스템 동작을 위해 필요한 소프트웨어를 응용 소프트웨어(software application)라고 정의한다.

〈그림 3〉은 개방 인터페이스로 독립된 기능의 서브 시스템들을 연결하는 구조를 예시하고 있다. 각 서브시스템은 서비스 환경 및 시스템 동작 상태에 따라 결정될 것이다. 응용소프트웨어는 ATM, Smart card, 인터넷, OTA(over-the-air) 등을 이용하여 모듈간 인터페이스와 파라미터의 변경 및 추가가 가능할 것이다. 서로 다른 서비스 플랫폼상에 응용소프트웨어 다운로드를 위한 미들웨어 기술의 적용은 실시간 다운로드에 따르는 트래픽 영향 및 보안, 과금 방식에 대한 연구가 필요하며 응용 프로그램 다운로드에 의한 지적재산권 문제의 해결 방안이 필요하다.

SDR 기반 시스템은 이외에 스펙트럼 규제 접근 방식의 변화를 요구한다. 즉, 다중 대역, 다중 모드 서비스를 위해서는 응용 소프트웨어 변경에 의해 송출 주파수 전력 및 동작 방식 변경이 요구되므로 현재 제한된 스펙트럼 사용 제한에 대

한 스펙트럼 분배 및 허가 방법 변경이 필요하다. 미국의 FCC에서는 SDR 기술이 스펙트럼 이용 효율을 개선할 수 있는 중요한 기술임을 인정하고 기술 추이를 살피고 있다.

SDR 시스템은 기존 시스템과 새로운 시스템 규격에 적용 가능한 시스템 구성을 가능하게 하므로 시스템간 상호 운용성, 제품 수명 증대, 개발기간의 최소화 실현을 가능하게 하는 특성을 갖는다. 하드웨어 동작에 크게 의존하였던 기존 시스템들은 재구성 가능한 하드웨어로의 대체로 응용소프트웨어 다운로드에 의하여 예러정정, 사용자에 따른 서비스 변경, 새로운 서비스의 실시간 수용 등이 가능한 특성이 있다.

IV. SDR 기반 시스템 개발 현황

현재 출시되고 있는 SDR 기반 시제품은 기지국을 중심으로 군용과 상용제품이 각 업계에서 발표되고 있다. 군용 시스템 개발업체는 JTRS의 SCA(software communication architecture)를 기반으로 제품을 생산하고 있으며 군용 시스템의 상용화로의 접근으로 확장하는 방식을 택하고 있다. 상용화 시스템은 3G시스템과 무선랜 시스템 간의 다중대역, 다중모드 등의 동작이 가능하도록 하여 3G 시스템과 무선랜 시스템의 장단점을 보완하는 방식으로 접근하고 있다.

기지국의 SDR 개발 현황을 살펴보면 유럽의

GSM 시스템은 2G/2.5G가 상호 재구성 가능하도록 상용 시스템이 구축되어 서비스 중이며, AirNet에서는 GSM, GPRS, EDGE 세 모드 변경이 동일 플랫폼 상에서 무선 인터넷을 통해 소프트웨어 업그레이드가 가능하도록 설계한 AdaptaCell™ (http://www.aircom.com/pr_index.htm)을 1997년에 발표하였다. 호주의 SDRCT(구 ACT)사는 다중 네트워크 환경에 공통 인프라구조를 제공하여 CDMA방식의 경우 쉐킷의 칩셋을 이용하지 않고 네트워크 제공자가 GSM, CDMA, W-CDMA, UMTS 등의 서비스 프로토콜 제공이 가능하도록 한 SpectruCell SDR 플랫폼 (http://www.act-aus.net/Products_and_Services/index.html)을 2001년에 발표하였다. 또한, Spectrum Signal Processing사의 SDR-3000 시리즈인 SDR transceiver sub-systems은 군용 통신(JTFS, CAN etc.), 상업용 무선 시스템(3G cellular BS, Satellite gateway), 무선 테스트와 측정 등 다양한 분야에 응용이 가능한 cPCI 기반 시스템을 개발하였다. 일본의 KDDI에서는 소프트웨어 다운로드가 가능한 PHS 기지국 테스트베드를 소개하였다. Harris사에서는 공통 플랫폼에서 동작하는 다중 대역 소프트웨어 기반 군용무선 시스템인 FALCON™ II (<http://www.rfcomm.harris.com/products/tactical-radio-communications>)를 발표하였고, 그 외 여러 회사에서는 SDR 기지국과 스마트(소프트웨어) 안테나에 대한 연구를 진행하고 있다.

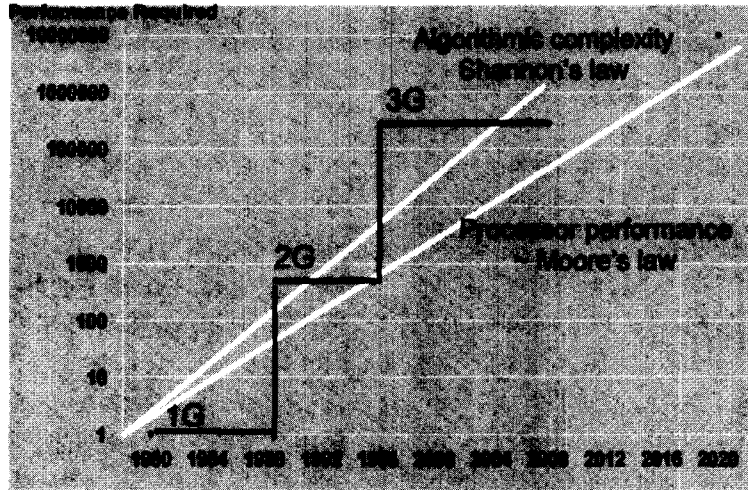
단말기용 SDR 개발은 핸드셋용 DSP를 개발하고 있는 SandBridge Technology Inc. (<http://www.sandbridgetech.com>)에서 상용 DSP의 serial processing 방식을 parallel processing이 가능한 Sandblaster™ process를 개발하여 2003년 여름 출시를 기다리고 있고 이외에 군용 handheld 및 무전기 개발 등 한정된 분야에서 개발되고 있다. 이는 단말기가 갖는 고유 특성인 소규모성, 전력소모, 경제력 등의 제약 때문으로 단말기의 시제품은 2006년 정도 발표될 것으로 예측하고 있다.

V. SDR 기술의 발전 전망

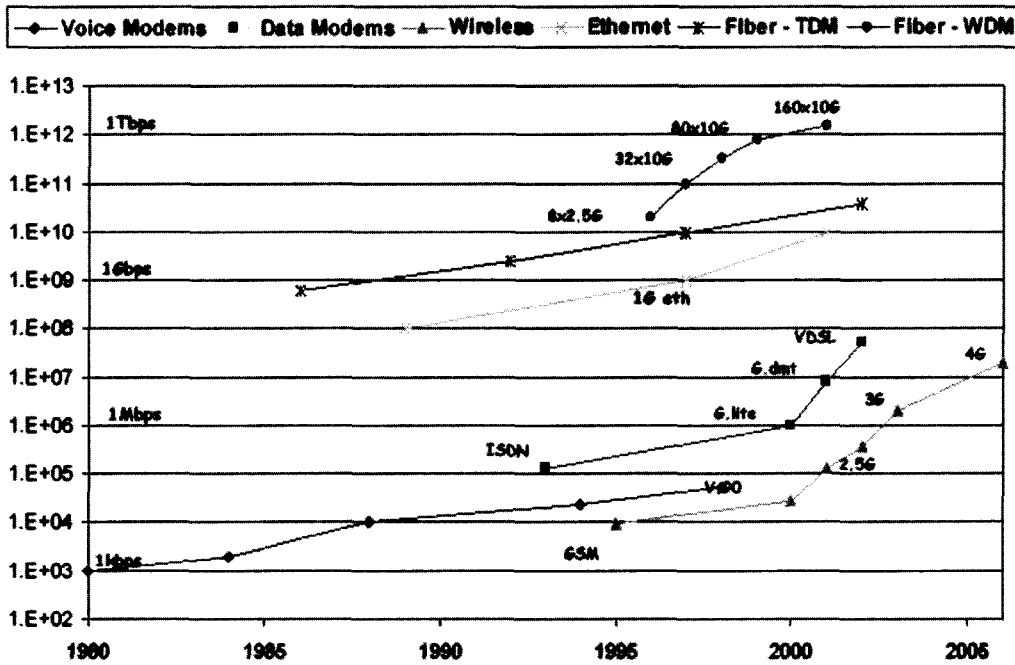
SDR 기술은 다중 규격, 다중 대역, 다중 서비스 시대에 시스템의 통합 해결책을 제시해 줄 수 있는 차세대 기반 기술로 고려되어 3G 시스템의 업그레이드 및 새로운 4G 시스템의 접근으로 이해되고 있다. SDR은 단순히 무선 통신 기술의 발전이 아니라 컴퓨터, 반도체, DSP 기술 등의 여러 가지 시스템 기술이 요구되는 기술의 융합 및 조화를 필요로 하는 기술이다. 이와 같이 SDR 기술은 미래의 이동통신 문화를 획기적으로 바꿀 수 있을 것으로 예상되며, 만병통치약과 같은 보랏빛 꿈을 가져다 주고 있지만 이것이 실현되기 위해서는 필연적으로 몇가지 해결되어야 할 문제점을 안고 있다.

1. SDR 기술 발전의 걸림돌

첫째로, SDR 기술이 추구하는 기능과 서비스를 모두 수용하기 위해서는 초고성능의 프로세서가 필요하다는 것이다. 그것도 저전력으로 동작해야 하고, 단위 면적당 집적도가 괄목할 만큼 향상되어야 한다. 이러한 문제는 최근 급격히 발전하고 있는 반도체 기술과 나노 기술에 힘입어 그 실현 가능성이 있다고 할 수 있다. 그런데 <그림 4>와 <그림 5>를 보면 사용자가 요구하는 서비스를 만족하기 위한 기술의 발전 속도와 실제적으로 이를 구현하기 위한 제반 기술의 발전 속도를 보면 자못 비관적이기까지 하다. 예를 들어 IMT-2000 시스템의 개발이 완료된 시점에서의 프로세서의 성능은 2세대 이동통신 시스템 규격을 SDR 개념으로 간신히 처리할 수 있는 정도에 지나지 않으며, 4G 시스템 규격이 완성될 즈음에는 그때까지의 반도체 기술의 발전은 이를 처리하기에는 역부족이라는 결론을 얻게 된다. 그러나 <그림 4>와 <그림 5>에서는 단위 면적당의 집적도가 평균 18개월마다 2배로 증가한다는 Moore의 법칙에 따라 작성된 것으로 실제의 경우 FPGA를 이용하여 구현할 경우 현존하는 최신의 통신 규격을 하나의 칩으로 수용이 가능한 것이 현실



〈그림 4〉 Shannon의 법칙과 Moore의 법칙



〈그림 5〉 요구되는 전송데이터율의 증가 속도

이다. 따라서 FPGA와 DSP, 그리고 ASIC의 장단점을 적절하게 혼합된 구조를 사용한다면, 즉, DSP칩의 Reprogrammability와 FPGA의 Parallel Processing 능력, 그리고 ASIC의 저전력 구조를 적절히 혼합할 수 있는 프로세서 구조를 지향한다면 이러한 부품 소자에서의 단점

을 극복할 수 있을 것이다. 실제로 Sand Bridge 사나 Quick Silver Technology사 (<http://www.quicksilvertech.com>)와 같은 벤처 업계에서는 이미 이러한 시도를 하고 있으며 괄목할 만한 결과물을 내놓고 있다.

둘째로, 하나의 시스템에서 여러가지 모드를

동시에 (Co-working) 지원이 가능하며, Vertical Hand over 등 시스템 간의 Inter-working이 가능할 것인가 하는 점이다. 이런 문제는 시스템의 프로세싱 능력 한도에서는 소유한 Resource의 적절한 분할을 이용하여 서비스를 제공할 수 있을 것이다. 예를 들어, SDR 기반의 다중모드로 동작이 가능한 시스템이 두 가지 이상의 모드를 동시에 서비스하기 위해서는 Time Sharing 등의 기법을 사용하여 한 순간에는 하나의 서비스를 제공하되 사용자는 이를 인식하지 못하도록 처리가 가능할 것이다. 또한 통신 규격의 유사성으로 인해서 적용된 SW의 재사용 효율을 증대시킬 수 있다. 시스템이 하나의 사용자에게 지원할 수 있는 서비스의 품질은 사용자가 지불하는 비용과 관련되겠지만, 지불된 비용에 맞춰진 일정한 서비스 품질을 유지할 수 있도록 하기 위한 전송데이터율을 지원할 것이고, 이중모드로 사용할 경우 각 모드는 당초 지원받던 전송데이터율의 절반씩 지원을 받는 것이 타당할 것이다. 즉, Inter-working 과 Co-working의 문제는 시스템의 성능에 관계되는 것이 아니라, 기능과 제공받고자 하는 서비스 종류에 관계된다고 할 수 있다.

셋째로, 현재 다중모드로의 통신 수요가 그다지 많지 않을 것이라는 것이다. 이것은 차세대 이동통신 서비스가 어떻게 발전할 것인가에 깊은 관계가 있다. 최근 Ubiquitous라는 용어가 많은 사람들에게 회자되고 있고, 차세대 서비스의 근간으로써 손색이 없을 것이다. Ubiquitous는 일종의 다양한 센서 네트워크를 Adaptive하게 활용하여 어떠한 환경에서도 어떠한 종류의 서비스라도 지원받을 수 있는 것을 의미한다. 이러한 Ubiquitous를 달성하기 위해서는 다양한 센서로부터의 통신 규격을 (예를 들면, Bluetooth, Home RF, W-LAN, IrDA, Cellular 등등) 모두 만족할 수 있어야 할 것이다. 따라서 하나의 단말기 및 시스템은 다양한 통신 규격에 능동적으로 대처하여 통신 네트워크를 구축할 수 있어야 한다. 이러한 Ubiquitous 시대에서는 다중모드 서비스를 기본으로 하는 다양한 응용서비스가

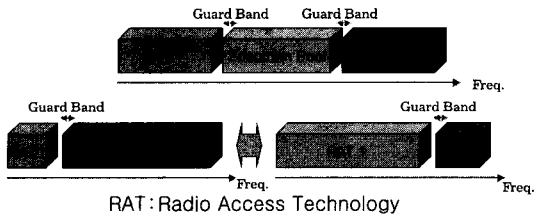
탄생할 것으로 쉽게 예견할 수 있다. 즉, 서비스는 사용자의 선호도에 의해 주도되는 것이지, 누군가의 의도에 따라 강제되는 것은 아니다.

넷째로, 과연 RF 부품의 역할까지 디지털화할 수 있을 것인가 하는 문제다. 이 문제는 현재로서는 가장 해결하기 어려운 문제이다. RF신호를 직접 표본화하여 처리할 경우 현실 불가능한 정도의 A/D, D/A 변환기가 필요할 것이다. Ideal한 필터가 존재한다면 Band Pass Sampling 등의 기법을 활용하여 처리가 가능하겠지만 이 또한 현실적이지 못하다. 따라서 다중대역의 주파수를 직접 기저대역으로 변환하여 디지털 처리하거나, 또는 낮은 IF 주파수로 변환하여 디지털 처리하는 방법이 현재 사용되고 있다. 그렇다고 하더라도 현재로서는 다중 광대역 안테나, 전력증폭기, 저잡음 증폭기, 듀플렉서 등 전통적인 RF 소자 등에 대해서는 디지털화가 어려운 실정이다.

2. SDR 기술의 발전전망

앞 절에서 언급한 바와 같이 SDR 기술이 실현되기 위해서는 해결되어야 할 문제들이 만만치 않다. 그러나 SDR 기술은 RF 기술에서 컴퓨터 기술까지 적용해야 할 기술분야가 상당히 넓고, 각 단위기술별로 발전에 발전을 거듭할 것으로 예상되고, 이러한 기술이 단말기에까지 적용되기까지는 앞으로 수년간의 기술개발 과정이 필요하다. RF 부품의 디지털화를 제외하고는 저전력 동작이 가장 중요한 요소가 될 것이므로 가까이에는 다중모드로 동작이 가능한 기저국의 상용화가 가능할 것이다. 이로부터 저전력 동작이 가능한 소자 및 구조에 대한 연구가 진척된 후 단말기에서도 SDR 기반의 다중모드 동작이 가능하게 될 것이다. 하나의 단말기로 다양한 무선규격과의 접속이 가능해지고, 언제 어디서나 사용자의 환경에 최적화된 서비스를 탐색하고 접속하여 최적의 서비스를 제공받을 수 있게 될 것이다.

개방 구조를 바탕으로 설계된 공통 하드웨어 시스템에 객체지향 응용소프트웨어의 다운로드로 다중 모드, 다중 규격 변경이 가능하도록 구성된



<그림 6> Spectrum Sharing 예

단일 단말기는 모든 다양한 서비스 및 양질의 서비스 제공이 가능하여야 한다. 3세대 패킷교환방식의 네트워크 서비스는 유/무선 통합망의 네트워크 구조 설계가 가능하여야 하며 2010년경 SDR 기반 네트워크 구조는 최상의 서비스 제공을 위하여 self-organization이 가능한 유연한 망구조의 Active 네트워크로 발전할 것으로 예상되며 단말기와 기지국 시스템이 SDR 기반으로 발전함에 따라 서비스 접근이 가능할 것으로 보인다.

SDR 기반 시스템은 경제성 및 시스템 역호환성(backward compatibility) 제공을 위하여 COTS 소자를 이용한 시스템 설계가 요구된다. 따라서, 광대역 RF 부품, 저전력 소자, 광대역 A/D/A 변환기 등 관련 소자의 연구가 수반되어야 하며, 무선의 디지털화에 따른 모듈화된 HW/SW 알고리즘의 개발이 요구된다. 프로그램 다운로드에 의한 시스템 업그레이드 및 버그 수정 기술 및 보안 알고리즘의 연구는 콘텐츠 및 개인 정보 보호 등을 위한 필수 기술로 고려된다.

SDR은 무선 통신의 희소 자원인 주파수의 재사용률을 크게 증대시켜줄 수 있는 기술이다. SDR 기반 시스템은 현재 통신시스템이 정부에서 정하고 있는 고정된 주파수 대역과 모드에서 서비스를 제공하고 있는 것과는 달리 동적 주파수를 이용하여 사업자간 주파수 공유 및 규격 변경이 가능하여 다중 대역, 다중 규격 서비스를 제공할 수 있다. 즉, 미래에는 사업자에게 할당된 주파수 자원을 타사업자에게 빌려주거나 공유할 수 있는 스펙트럼풀의 형성으로 유휴 스펙트럼 대역을 최소화 할 수도 있다.(<그림 6 참조>) 이러한 서비스 제공을 위하여 정부의 주파수 규제법의 변경이 요구되고 있으며 미국의 FCC에서는 주파수 규제완화에 대한 연구를 관련 기관과 심도 있게 논의중이다.

VI. 결 론

<그림 7>은 유럽의 IST(Information Society Technology) 연구 프로젝트중 TRUST(Transparently Reconfigurable Ubiquitous Terminal, <http://www.ist-trust.org/>) 프로젝트에서 예측한 Roadmap이다. 이 그림으로부터 2010년 경에는 단말기와 네트워크 및 서비스 분야에까지 SDR 기반의 시스템으로 구성되어 Ubiquitous의 기반 시스템으로 자리잡을 것으로

	2000	2005	2010
Architecture	Single mode	Composite multimode	Fully Software Defined
Architecture	Fixed	Adaptant	Self organizing
Regulation	Static spectrum allocation	Dynamic spectrum sharing	Dynamic spectrum allocation
Service	Provisioning	Self provisioning	Self provisioning, self management, self reconfiguration, self re-optimization

<그림 7> TRUST 프로젝트에서 본 SDR기술의 로드맵

예상된다.

SDR 기술의 적용은 시스템 규모 및 전력 소모의 제한이 적은 기지국의 상용화가 우선할 것으로 예상되며, 현재 SDR 기반 기지국 프로토타입들이 소개되고 있다. 전문가들은 2004년경부터 SDR 기반 기지국의 상용제품 출시가 가능할 것으로 예상하고 있다. 이에 반해 단말기의 상용화는 사용되는 프로세서의 고속화에 수반되는 높은 소비전력 및 부품의 대형화 등의 문제로 저전력, 소형 경량의 high performance 프로세서 등의 COTS 부품 제공이 가능할 2007년경으로 예측하고 있다. 전문가들은 2010년 이후 모든 무선망을 자유롭게 통합/융합하고 언제, 어디에서나 단일 단말 시스템으로 접속할 수 있는 ubiquitous 유무선 통신 시대가 도래할 것으로 전망한다.

참 고 문 헌

- [1] R.Navarro-Prieto and G. Conaty, "What do end users want from reconfigurable radio terminals?," IST Mobile & Wireless Telecommunications Summit 2002, June 2002.
- [2] N.J.Drew and M.M.Dillinger, "Evolution toward reconfigurable user equipment," *IEEE Comm. Mag.*, pp.158-164, Feb. 2001.
- [3] Gudaitis S.M and Hinman D.R, "Tactical Software Radio Concept," IEEE MILCOM 97 Proceedings vol. 3, Page (s) : 1207-1211, 1997
- [4] SDR Forum Technical Report v2.2 2001.
- [5] SDR Forum, "Software Defined Radio Forum Structure and 2003 Unified Workplan," SDRF Working Document (SDRF-03-W-0002), Mar. 2003.

저 자 소 개



金 址 妍

2000년 전남대학교 컴퓨터공학과 석사, 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 연구원, <주관심 분야: SDR, 이동통신, 디지털 변복조>



金 鎮 業

1978~1985 고려대학교 전자공학과 (학사), 1985~1987 KAIST 전기및전자공학과 (석사), 1990~1996 KAIST 전기및전자공학과 (박사), 1987~현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 팀장/책임연구원, <주관심 분야: SDR, 무선접속기술, Data Compression, Channel coding>