

휴대 기기에서의 SDR(Software Defined Radio)을 위한 운영체제 구조와 재구성 기법

송인준^o 김영필 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
{ijsong^o, ypkim, hxy}@os.korea.ac.kr

Operating System Architecture and Reconfigure Mechanism for SDR(Software Defined Radio) on Handheld Device

Injun Song^o Youngpill Kim Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

최근 급속한 발전으로 인해 다양해지고 있는 무선 통신 기술들은 각자의 고유한 주파수, 채널 부호화 기법, 변복조 기법을 쓰는 경우가 많다. 이로 인해, 다양한 무선 통신 기술 간의 비호환성 문제가 제기되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술이 SDR(Software Defined Radio)이다. SDR은 신호 처리(Signal Processing)를 소프트웨어적으로 구현하는 것이다. 이러한 SDR 기술은 하나의 하드웨어를 이용해서 여러 무선 통신 기술들을 이용할 수 있게 한다. 현재 대부분의 SDR의 연구는 재구성 가능한 하드웨어 로직과 코어 프레임워크인 SCA(Software Communication Architecture)로 초점이 맞추어지고 있다. 하지만 SDR 시스템의 특성을 고려했을 때, 실시간성(Real-Time)과 유연성(Flexibility), 재구성(Reconfigurability)을 위한 기능을 추가하기 위해 이에 적합한 운영체제의 연구가 필요하다. 본 논문에서는 휴대 기기에서의 SDR 시스템에 대해 간략히 알아보고 이를 위한 운영체제의 요구사항을 설명하며 그에 적합한 운영체제의 구조와 재구성 기법을 설명한다.

1. 서 론

이동 통신 기술에는 GSM 및 CDMA 등의 기술이 있으며, 최근에는 Wireless LAN 기술의 보급도 빠르게 확산되고 있다. 또한 근거리 무선 접속을 위한 Bluetooth[5] 기술도 나오고 있다. 이러한 무선 통신 및 이동 통신 기술들은 현재 급속하게 발전하고 있으며, 각각의 무선 표준들이 자신만의 주파수와 변복조 기법 및 채널 부호화 기법들을 가지고 있다. 이러한 기술의 차이에 의해, 각각은 서로 상호작용을 할 수 없고, 비호환성(Incompatibility) 문제가 제기 되고 있다.

이러한 비호환성 문제의 해결을 위해 SDR 기술의 개발이 진행 중이다. SDR의 연구는 SDR Forum[1]을 중심으로 진행되고 있고 TRUST, CAST, SCOUT[3,4,5,6]과 같은 프로젝트가 활발히 진행중이다. 또한 Vanu같은 회사에서는 HP iPAQ PDA에 SDR 시스템을 구현하였다.[7,8] 현재 진행되고 있는 SDR 연구 분야는 재구성 가능한 하드웨어 로직인 FPGA(Field-Programmable Gate Array), DSP(Digital Signal Processor) 등의 연구와 SDR Forum에서 채택한 소프트웨어 프레임워크인 SCA의 연구로 활발히 진행되고 있다. SCA는 SDR을 위한 운영체제를 POSIX 1003.13 규격을 따르는 실시간 운영체제로 정의한다. 하지만 대부분의 SDR 연구에 있어서 SDR을 위한 운영체제의 연구는 미흡한 수준이다. 휴대기기와 SDR 기술의 특성을 고려했을때, SDR을 위한 운영체제는 실시간성과 유연성, 재구성을 위한 기능, SDR을 위한 하드웨어의 효율적인 관리 등을 제공해야 한다.

본 논문에서는 휴대 장치에서의 SDR 지원을 위한 운영체제의 구조를 제안하고자 한다. 휴대 장치에서의 SDR을 위한 시스템적 요구사항과 그것들을 해결할 수 있는 운영체제의 구조와 기법들을 알아본다.

논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 간략한 배경 설명과 관련 연구에 대해 알아보고 3장에서는 SDR을 위한 시스템이 갖추어야 할 점에 대해서 짧게 언급하고 제안된 운영체제 구조와 동적 재구성 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 결론 및 향후 계획을 설명한다.

2. 배경 설명 및 관련 연구

SDR 기술은 1990년대 초반에 미군의 군용 통신 장비들의 통합을 위해 나왔다. SDR의 적용 분야는 개인 휴대 기기와 베이스 스테이션(Base station) 등이 있다. SDR 시스템은 여러 무선 통신 기술을 유동적으로 지원하기 위해, 시스템 구성 요소의 동적 재구성 기법을 필요로 하게 된다.

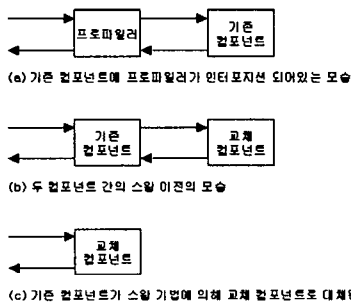
2.1 Software Defined Radio 의 연구

최근의 SDR의 연구는 SDR Forum 을 중심으로 이루어지고 있다. SDR Forum에서는 SDR 시스템을 위한 소프트웨어 프레임워크로써 JTRS(Joint Tactical Radio

System)[2]에서 정의한 SCA를 채택하였다. SCA는 실시간 운영체제와 코바 미들웨어, 코어 프레임워크로 이루어진 소프트웨어의 구조로써, SCA의 명세서에는 SDR을 위한 운영체제에 대한 명확한 명세가 미흡한 실정이다.[11]

2.2 운영체제 컴포넌트의 동적 재구성 기법

운영체제의 유연성을 더하고 재구성 가능한 환경을 주는 기법에는 여러 가지 연구가 있다. [그림1]에서 보듯이, 동적 재구성의 기법에는 인터포지션(Interposition) 기법과 스왑(Swap) 기법이 있다.[9] 이 두 가지 기법은 각 컴포넌트의 상태가 활성화 되지 않은 상태를 가정하고, 인터포지션과 스왑 기법을 실제로 행하기 위한 작업이 복잡하다.



[그림 1] 동적 재구성을 위한 (a)인터포지션 기법과 (b),(c) 스왑 기법

3. SDR을 위한 운영체제 구조와 동적 재구성 기법

SDR은 기존 하드웨어의 신호 처리를 소프트웨어적으로 구현함으로써 생기는 연산량의 증가라는 문제점을 가지고 있다.[12] 특히 휴대 장치에서 SDR을 지원하기 위한 시스템의 경우는 내장형 시스템이 갖는 한계가 더해진다. 본 논문에서 제안하는 구조는 이러한 환경에서 요구하는 사항을 만족시키기 위한 구조이다. 또한 SDR을 지원하는 휴대 기기의 특성을 고려한 경량화된 재구성 기법을 제안하고 있다.

3.1 Software Defined Radio 을 위한 시스템의 요구사항

휴대 기기에서의 SDR을 지원하는 시스템의 요구사항은 다음과 같다.

- 실시간성
- 유연성과 재구성 가능성
- 저전력

본 논문은 위와 같은 시스템의 요구사항을 해결하고자 운영체제의 구조와 기법을 제안하고 있다. 하지만 실시간성

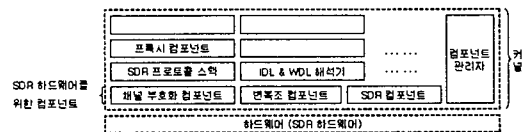
은 SCA에서 명시한 운영체제의 규격인 POSIX 1003.13이 실시간 운영체제에 대한 프로파일이므로 이 논문에서는 설명을 하지 않는다. 논문에서는 유연성과 재구성의 가능성을 중심으로 휴대기기의 SDR 구현에 있어서의 운영체제 구조를 설명한다.

3.2 컴포넌트 기반의 재구성 가능한 운영체제

유연성과 재구성 가능성이라는 문제를 해결하고자 본 논문에서 제안하는 운영체제의 구조는 전체적으로 컴포넌트를 기반으로 한다. 컴포넌트는 독립적인 소프트웨어의 구성 단위로써, 제안하는 운영체제의 재구성 단위이다. 다양한 무선 통신 기술에 있어서 채널 부호화, 변복조 등을 변화시키기 위해서는 컴포넌트의 동적인 재구성 기법이 필요하다.

일반적으로 컴포넌트는 인터페이스와 구현으로 나누어진다. 인터페이스는 컴포넌트의 함수 목록이고 외부에 공개되는 형태이다. 컴포넌트의 구성을 위해서는 컴포넌트의 행동을 명세하는 IDL(Interface Description Language)이 필요하다. 이러한 IDL은 WDL(Waveform Description Language)과 대응할 수 있다. WDL은 각 무선 통신 기술의 고유한 주파수에 대한 기술의 명시하고 있으며, 대표적인 예로 Vanu사의 RDL(Radio Description Language)이 있다.[10]

[그림2]와 같이, 제안하는 운영체제의 컴포넌트는 일반적인 휴대 장치의 하드웨어 뿐만이 아니라 SDR 관련 하드웨어를 효율적으로 추상화(Abstraction)하고 관리해야 한다. 그러므로 SDR을 지원하기 위해서는 커널을 구성하는 컴포넌트에는 채널 부호화에 관한 컴포넌트와 변복조에 관한 컴포넌트, SDR 프로토콜 스택 컴포넌트, 통합 된 IDL과 WDL의 해석기 컴포넌트 등이 필요하다. 이러한 컴포넌트들은 모두 컴포넌트 관리자에 의해 조립·구성되며, 그 컴포넌트의 행동 분석은 IDL & WDL 해석기 컴포넌트에 의해 이루어진다.

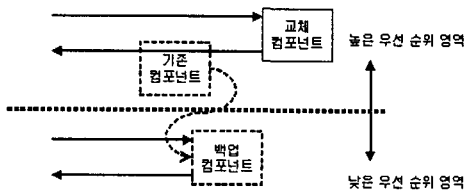


[그림 2] SDR 시스템을 위한 컴포넌트 기반의 커널 구조

3.3 경량화된 재구성 기법

SDR을 지원하는 시스템에서의 SDR 관련 컴포넌트의 재구성 기법은 빠른 처리 시간과 단순한 연산으로 과부하를 최소화 해야 한다. 위에서 언급한 동적 재구성 기법은 기능

을 추가하거나 구성 요소를 교체하는 과정이 복잡하고 교체 연산 전의 준비단계가 길다는 단점이 있다. 위의 스왑 기법은 포워딩(Forwarding), 블록(Block), 전송(Transition) 등 세 단계가 있다.[9] 만약 블록 상태에서 활성화중인 쓰레드의 처리시간이 길어진다면 스왑 기법의 요청은 늦어지고, 교체될 컴포넌트의 서비스를 이용하기 위한 지연 시간이 길어진다. 위에서 언급한 기존의 동적 재구성 기법을 SDR 지원 시스템에서 적용하게 된다면, 적합한 베이스밴드(Baseband)에 따른 시스템 컴포넌트 교체에 대한 지연 시간이 길어지게 되고, 결과적으로 무선 통신 표준의 모드 전환이 매끄럽게 이루어지지 못하게 된다. 이러한 기법은 실시간성을 요하는 SDR 시스템에는 적합하지 않다.



[그림 3] 경량화된 재구성 기법

본 논문에서는 교체될 무선 통신 기술의 베이스밴드(Baseband)에 적합한 SDR 하드웨어 관련 컴포넌트 및 프로토콜 스택의 교체 시간을 빠르게 하기 위해 블록 상태의 지연을 줄이는 재구성 기법을 제안한다. [그림 3]은 서로 다른 무선 통신 표준을 위한 컴포넌트가 교체되는 과정을 나타낸다. 제안된 구조에서는 컴포넌트에 대한 동적인 우선 순위(Dynamic Priority)를 조절하는 기법을 사용한다. 기존 컴포넌트는 스왑 연산이 시작되면 백업 컴포넌트로 수행되고, 이 백업 컴포넌트는 낮은 우선 순위를 갖고 실행된다. 새로 교체된 컴포넌트는 백업 컴포넌트에 비해 높은 우선순위를 가지므로 스왑 기법의 실행 뒤에 바로 수행되어 질 수 있다. 실제 기존의 컴포넌트에 수행되던 쓰레드들에게는 상대적으로 큰 응답 시간을 주게 되지만, 빠르게 베이스밴드의 변화에 적응할 수 있는 구조이다. 또한 [그림 2]에서 보듯이, 프록시 컴포넌트(Proxy Component)를 제공해서 특정 베이스밴드에 대한 컴포넌트들을 미리 적재하거나, 이전의 컴포넌트들을 저장시킬 수 있다. 이 컴포넌트는 시스템이 하드웨어가 전파의 세기로 감지한 베이스밴드의 변화에 빠르게 적응하여 소프트웨어적으로 재구성 할 수 있도록 해준다.

제안된 재구성 기법은 블록 단계를 거치지 않아 빠른 재구성 성능을 보여주며, 실시간성을 요하는 시스템에서 응답 시간에 대한 지연을 줄여준다.

4. 결론 및 향후 계획

현대 기기에서의 SDR 시스템은 소프트웨어적 처리량의 증가와 현대 기기의 제한된 자원을 갖는 특성으로 인해 많은 제약을 갖는다. 이로 인하여 SDR 시스템의 운영을 위해서는 실시간성과 재구성 가능성, 저전력을 위한 기능이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 SDR 관련 컴포넌트의 재구성을 위한 운영체제 구조와 동적 커널 컴포넌트 재구성 기법을 제안하였다. 이 운영체제의 구조는 목적 베이스밴드에 적합한 SDR 관련 하드웨어를 추상화한 컴포넌트와 프로토콜 컴포넌트를 교체하는데 적합하도록 설계되었다. 또한 관련 컴포넌트의 동적 재구성의 지연을 줄이고자 경량화된 동적 재구성 기법을 제안하였다.

향후, 본 연구 내용을 한층 발전시켜서, 재구성 기법에 대한 안전성의 검증(Safety Verification)과 저전력을 위한 시스템 구조에 대한 연구를 진행할 계획이다. 이러한 연구 결과는 현대 기기에서의 SDR 지원을 위한 시스템의 운영적 측면에 있어서 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] SDR Forum <http://www.sdrforum.org/>
- [2] Joint Tactical Radio System <http://jtrs.army.mil/>
- [3] TRUST Project Website <http://www.ist-trust.org>
- [4] CAST Project Website <http://www.cast5.freemove.co.uk>
- [5] SCOUT Project Website <http://www.ist-scout.org>
- [6] M. Mehta, N. Drew and C. Niedermeier, "Reconfigurable Terminals: An Overview of Architectural Solutions", *IEEE Communication Magazine*, August 2001
- [7] Vanu Corp. <http://www.vanu.com>
- [8] J. Chapin, V. Bose, "The Vanu Software Radio System", 2002 Software Defined Radio Technical Conference, San Diego, November 2002
- [9] C. A. N. Soules, J. Appavoo, K. Hui, et al, "System Support for Online Reconfiguration", *USENIX 2003 Annual Technical Conference*
- [10] J. Chapin, V. Lum, S. Muir, "Experiences Implementing GSM in RDL", *IEEE Milcom 2001 (Military Communications)*, October 2001
- [11] Support and Rationale Document for the Software Communication Architecture Specification (v2.2)
- [12] Sixto Ortiz Jr, "Software Radios Add Flexibility to Wireless Technology", *IEEE Computer Magazine* August 2003 23-25p