

논문 2010-47CI-5-7

산업용 임베디드 시스템 플랫폼 개발

(Development of Industrial Embedded System Platform)

김대남*, 김교선**

(Daenam Kim and Kyosun Kim)

요약

지난 반세기 동안 컴퓨터 시스템의 발전으로 개인용 컴퓨터와 소프트웨어 산업은 유례 없는 호황을 누렸다. 21세기에 들어서는 이러한 흐름이 모바일 기기로 점차 이동하면서 임베디드 시스템 시장이 폭발적으로 증가하였다. 휴대전화, 내비게이션 시스템, PMP 등의 휴대용 멀티미디어 기기들은 시장에 쏟아져 나온 반면에 대부분의 산업용 제어시스템은 여전히 단순제어 시스템에 의존하여 제품이 개발되고 있다. 실제로 이를 첨단 하드웨어와 소프트웨어의 기술로 전환하려고 해도 그 수요가 모바일 시장에 비해 낮아 부품수급이 어렵고 가격이 상승하는 문제를 안고 있으며 기술개발 시 발생하는 많은 비용과 인력은 기업 입장에서는 투자 부담이 될 수밖에 없다. 그러나 미래 고객들에게 제품에 대한 기업 이미지를 끌어올리기 위해서는 고성능 시스템의 하드웨어와 소프트웨어 플랫폼 개발이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 네트워크 임베디드 시스템의 최적화된 하드웨어 플랫폼과 소프트웨어 플랫폼을 개발하였다. 개발된 플랫폼은 멀티미디어 기능을 추가하여 고급형 제품을 위한 플랫폼으로 제작하였다. 멀티미디어 기능을 구현하기 위해서 텔레칩스사의 멀티미디어 프로세서인 TCC8300을 기반으로 개발하였으며 프로세서 내부의 다양한 병렬하드웨어 기능을 이용함으로써 회로상의 부품의 수를 최소화하고 성능 향상과 더불어 전력소모량을 최소화하였다. 그리고 소프트웨어의 기술비용(로열티)을 없애기 위해서 오픈소스 기반의 운영체제인 임베디드 리눅스와 오픈소스 기반의 그래픽 라이브러리인 TinyX와 GTK+를 이용하여 GUI(Graphic User Interface)를 구현하였다. 또한 개발된 플랫폼을 이용하여 여러 가지 방식의 YUV2RGB 프레임 변환 실험 및 측정을 통해서 성능 및 프레임별 변환 시에 소모되는 전력량을 계산하였고 플랫폼의 각 부분별 동작에 대한 전력소모량 측정을 통해서 플랫폼 구성 시 필요한 전력과 성능을 예측할 수 있도록 하였다. 응용제품을 개발할 때 주어진 기능 및 성능 그리고 저전력 등의 사양이 구현 가능한지 분석하고 절충할 때 사용할 수 있는 모델을 개발하였고 이를 활용하여 직접 제작해 봄으로써 신뢰성을 입증하였다. 이 때, 하드웨어 부품들은 휴대폰 생산 시에 사용되는 부품들을 사용함으로써 저가의 부품을 안정적으로 수급하여 대량생산을 용이하게 하였다.

Abstract

For the last half a century, the personal computer and software industries have been prosperous due to the incessant evolution of computer systems. In the 21st century, the embedded system market has greatly increased as the market shifted to the mobile gadget field. While a lot of multimedia gadgets such as mobile phone, navigation system, PMP, etc. are pouring into the market, most industrial control systems still rely on 8-bit micro-controllers and simple application software techniques. Unfortunately, the technological barrier which requires additional investment and higher quality manpower to overcome, and the business risks which come from the uncertainty of the market growth and the competitiveness of the resulting products have prevented the companies in the industry from taking advantage of such fancy technologies. However, high performance, low-power and low-cost hardware and software platforms will enable their high-technology products to be developed and recognized by potential clients in the future. This paper presents such a platform for industrial embedded systems. The platform was designed based on Telechips TCC8300 multimedia processor which embedded a variety of parallel hardware for the implementation of multimedia functions. And open-source Embedded Linux, TinyX and GTK+ are used for implementation of GUI to minimize technology costs. In order to estimate the expected performance and power consumption, the performance improvement and the power consumption due to each of enabled hardware sub-systems including YUV2RGB frame converter are measured. An analytic model was devised to check the feasibility of a new application and trade off its performance and power consumption. The validity of the model has been confirmed by implementing a real target system. The cost can be further mitigated by using the hardware parts which are being used for mass production products mostly in the cell-phone market.

Keywords: Network Embedded System, Platform Design, Parallel Hardware, Open Source, Characterization

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 인천대학교 전자공학과

(Department of Electronic Engineering, University of Incheon)

※ 본 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비 지원에 의하여 연구된 것임.

접수일자: 2010년5월6일, 수정완료일: 2010년8월31일

I. 서 론

1. 논문의 목적

임베디드 시스템은 미리 정해진 특정한 기능들을 수행하기 위하여 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어가 결합된 고기능의 전자제어 시스템으로 가전제품, 홈 관리 시스템, 군사용, 항공용, 네트워크 기기, 차량, 교통, 사무, 의료 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 따라서 임베디드 시스템은 네트워크 및 멀티미디어 기능을 지원하기 위해 고성능의 다기능을 제공하면서 경량화, 저전력화, 고성능의 요구를 만족시켜야 하며 이러한 요구를 위해 불필요한 요소를 최소화하고 필요한 기능의 성능을 최대화하여야 한다. 특히, 기존의 8비트 혹은 16비트 마이크로 컨트롤러가 탑재된 시스템에 비해 가격이 급상승하게 된다. 이러한 이유 때문에 휴대 전화기를 비롯한 정보 가전 분야에서 초고속 성장을 이룩해왔던 임베디드 시스템이 산업용 제어 분야에서 확산이 이루어지지 못하고 있다. 본 연구는 32비트 ARM 프로세서를 기반으로 멀티미디어 및 네트워크 기능을 탑재한 임베디드 시스템 플랫폼을 개발하며 이 때, 휴대성에 필수적인 저전력 특성을 확보하고 기존 저 사양의 프로세서 기반의 컨트롤러를 대체할 수 있도록 저비용 요구를 만족시킬 수 있도록 한다. 무엇보다도 플랫폼의 부재로 인한 과중한 기술 개발 부담과 예측 방법의 부재로 인한 개발 위험부담을 줄일 수 있도록 하였다.

2. 기존의 네트워크 임베디드 시스템 제품군

임베디드 시스템은 휴대 전화기나 내비게이션 시스템과 같은 고속성장을 하고 있는 모바일 분야를 제외한 산업용 제어분야에서도 특히, 야외용 측정 분야에서 다양하게 쓰이고 있다. 그 제품군으로는 음주측정기^[1], 조명제어 시스템^[2], 홈 네트워크 시스템^[3], 아파트나 주택가의 원격감침 시스템, PAN(Personal Area Network) 내에서의 메신저, 식당 주문 시스템, 헬스케어 시스템^[4], 즐겨찾기 알람 시스템 등이 있다. 몇몇 분야는 이미 현재 시장에서 판매되고 있는 중이며 나머지 분야들도 미래에 상용화될 전망이다.

3. 기존 산업용 임베디드 시스템 제품군의 기술

하드웨어 사양으로는 프로세서의 경우 대부분 8비트 프로세서를 사용하고 있기 때문에 다양한 멀티미디어 기능을 동시에 지원할 수 없다. 다양한 멀티미디어 기

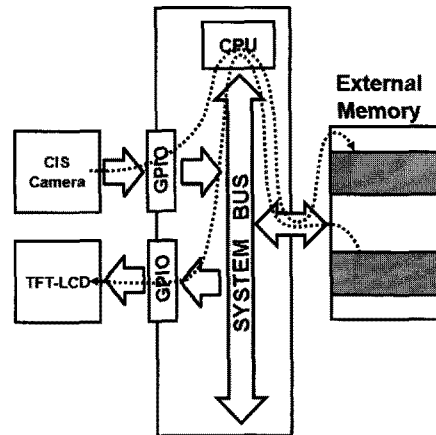


그림 1. 저성능 CPU의 구조
Fig. 1. Architecture of Low Performance CPU.

능을 구현하는 주변장치들을 제어하기 위해서는 32비트의 고성능 프로세서를 탑재해야 하는데 먼저 소모전력 문제에 당면하게 된다. 그리고 제어를 위한 부품의 수가 많아짐에 따라 제품의 크기가 증가하고 제품단가의 상승요인이 되며 많은 수의 부품으로 인해 설계 및 디버깅 비용이 증가한다. 통신방식은 대부분의 제품에서 RS232 통신이 가장 많이 사용되며 그 외에 RS485, RF(447MHz)와 ZigBee^[5]가 있다. 그림 1은 저성능 CPU의 동작 구조를 나타내고 있다. 입출력 장치들에 대한 I/O 컨트롤러와 CPU의 도움 없이 메모리를 직접 읽고 쓸 수 있는 DMA(Direct Memory Access)가 없기 때문에 카메라와 TFTP-LCD와 같은 스트리밍 데이터에 대한 처리를 CPU가 모두 부담하여야 하고 이들을 읽고 쓰는 동안 성능저하가 발생하여 다른 장치나 소프트웨어의 동작에 영향을 미치게 된다.

소프트웨어의 경우 단일 응용소프트웨어로 구성되며 하드웨어 제어와 사용자 인터페이스의 경계가 뚜렷하지 않다. 따라서 프로그램 구조가 체계적이지 못하며 순차 처리 방식으로 진행되기 때문에 처리 부하가 큰 함수의 호출시 시스템의 심각한 성능 저하를 가져올 수 있다. 이를 방지하기 위해서 인터럽트를 이용하기도 하나 인터럽트를 처리하는데 오버헤드가 발생하고 스트리밍 데이터 처리를 필요로 하는 하드웨어를 제어하기에는 한계가 있다. 슈퍼 루프(Super Loop) 구조의 단일 응용소프트웨어에서는 커다란 루프 안에서 모든 함수들이 순차적으로 호출되며 때에 따라서 인터럽트가 호출되기도 한다. 이러한 구조는 처리량이 적은 함수들의 경우 모든 함수를 빠르게 처리할 수는 있으나 처리시간이 길어지거나 함수의 수가 많아지면 각 기능의 응답속도를 예

측할 수 없거나 성능이 현저히 저하될 수 있다.

대부분의 산업용 제어시스템에는 운영체제를 사용하지 않는 단일 응용 소프트웨어를 사용하여 시스템을 제어하며 운영체제가 사용될 경우에는 WinCE와 같은 상용 운영체제를 사용한다. 그리고 MFC나 QT⁶⁾와 같은 상용 라이브러리를 사용하여 GUI를 구현한다.

단일 응용 소프트웨어구조를 사용할 경우 프로그램 개발 시간이 오래 걸리고 하드웨어 의존성에 따라서 비효율적일 수 있으며 설계사양 변경 시 수정 작업에서 많은 비용을 부담해야 한다. 그리고 상용 운영체제를 사용할 경우 많은 기술지원을 통해서 개발 시간을 단축시킬 수는 있으나 원천기술의 소유 및 수정이 불가능한 단점이 있다. 또한 장치를 판매할 때 로열티와 기술이전 비용이 발생한다. 무엇보다도 기술개발에 있어서 가장 걸림돌이 되는 것은 플랫폼의 부재로 인한 과중한 기술 개발 부담과 예측 가능성의 부족으로 인한 개발 위험부담을 줄일 수 있는가 하는 것이다. 또한 개발된 제품이 실제로 경쟁력을 가질 수 있는지도 예측해야한다.

II. 본 론

1. 플랫폼 설계에 필요한 요소기술

플랫폼을 설계함에 있어서 다양한 요소기술을 만족시켜 제품으로써의 가치를 충족시킬 필요가 있다. 이 절에서는 이러한 요소기술들을 설명하였다.

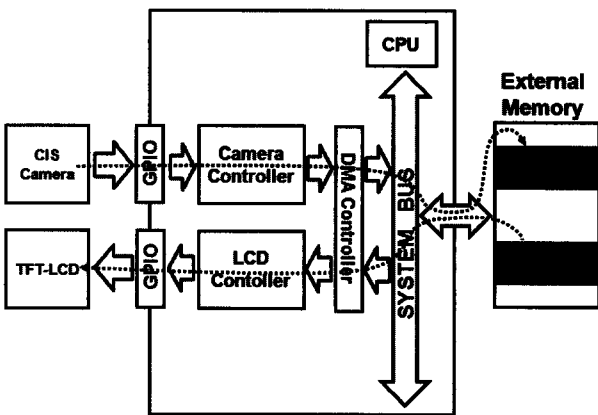


그림 2. I/O 컨트롤러와 DMA
Fig. 2. I/O Controller and DMA.

가. 고성능

고성능을 위해서는 꼭 필요한 기능만을 선택하여 구현하여야 한다. 기능이 많아져 많은 부품들을 사용하거

나 외부 장치를 많이 부착할 경우 속도나 잡음에 취약하며 특히, 고속으로 동작하는 부품들이 많다면 하드웨어 설계 시에 위험요소가 더 많아질 수밖에 없다. 그리고 멀티미디어 지원 하드웨어들을 제어하기 위해서는 이들에 대한 I/O 컨트롤러와 DMA 지원이 필수이다. 그래서 이런 점을 고려할 때 최대한 한 개의 칩에 많은 기능들을 포함하면서 성능이 우수함과 동시에 가격이 저렴한 고성능 프로세서가 필요하다. 그림 2는 이러한 조건을 만족하는 I/O 컨트롤러와 DMA의 동작 구조를 나타낸다.

칩 제작 기술이 수십 nm에 이르면서 칩 제작 고정 비용이 대폭 상승하였다. 그리하여 오래전부터 추구하던 다품종 소량생산이 소품종 대량생산 체제로 회귀하였고 하나의 칩을 가지고 많은 제품들에 장착하여 개발해야만 하게 되었다. 이러한 문제들은 소프트웨어 솔루션을 통해서 해결할 수 있으며 운영체제 기반의 소프트웨어 솔루션은 기존의 단일 응용프로그램보다 쉽고 빠르게 개발할 수 있다. 먼저, 하드웨어를 제어하는 장치 드라이버와 사용자 영역의 소프트웨어를 분리하여 이들을 운영체제가 관리 할 수 있도록 한다. 운영체제를 사용할 경우 멀티태스킹이 가능하기 때문에 여러 멀티미디어 장치와 응용프로그램을 동시에 동작하도록 할 수 있다. 모든 태스크의 작업이 스케줄러에 의해서 관리되기 때문에 개발자는 동작의 우선순위를 제외하고는 특별히 소프트웨어의 전체 동작 구조에 신경 쓰지 않아도 된다. 이렇게 분리하여 제작할 경우 하드웨어가 변경되더라도 장치드라이버 부분만을 수정하면 되며 디버깅도 편리해진다. 그리고 오픈소스를 사용할 경우 로열티 등의 기술비용이 발생하지 않는다.

나. 저전력

전력은 $P \propto cv^2f$ 이므로 전압(v)을 낮추어야 한다. 그러나 전압을 낮추면 성능(f)이 저하되기 때문에 저하된 성능향상을 위해 병렬성을 추구하는 방법이 있다.

병렬성에 의해서 비록 면적(c)은 커지지만 전압(v)에는 제곱에 비례하기 때문에 소모 전력에 대한 이득이 생긴다. 병렬 처리를 위해 다양한 명령어 처리 구조가 연구되어 왔다. 또한, 다중 프로세서를 사용하는 기법을 사용하기도 하였으며 특히, 이중 다중프로세서를 사용하면 동종 다중 프로세서를 사용할 때보다 전력소모 이득을 증대시킬 수 있다. 병렬성은 입출력 기능에서 중요하다. I/O 컨트롤러와 DMA를 통해 칩 외부의 다른

주변장치들을 제어할 때 성능대비 전력소모를 감소시킬 수 있다.

다. 저비용

저비용은 생산자가 가장 신중하게 고려해야 할 사항 중에 하나이다. 제품의 단가를 낮추고 고품질의 제품을 대량생산하기 위해서는 부품의 수를 최대한 줄여야 한다. 그리고 소프트웨어의 개발비와 개발시간 및 기술비용을 고려해야 하며 원천기술도 확보해야 한다. 이들을 만족시키기 위해서 하드웨어의 경우 메모리 부분만을 제외한 나머지 기능들을 최대한 많이 포함하는 고성능 프로세서인 멀티미디어 프로세서를 선택함으로써 부품의 수와 면적을 최대한 줄여 디자인과 대량 생산을 용이하게 한다.

소프트웨어의 경우에는 하드웨어와 다르게 기술비용이 지속적으로 발생하게 된다. 따라서 멀티미디어 시스템을 운영하기 위해서 오픈소스 기반의 운영체제를 사용하고 응용프로그램 역시 오픈소스 기반의 라이브러리를 이용하여 제작한다. 모든 소프트웨어를 오픈소스를 사용할 경우 공개되어 있는 자료를 바탕으로 원천기술을 확보할 수 있는 이점이 있다. 또한 인터넷 커뮤니티를 통해서 개발자들 간에 정보를 교환할 수 있으므로 상용 운영체제 못지않은 기술지원을 얻을 수 있다.

라. 멀티미디어

멀티미디어기능을 구현하기 위해서는 하드웨어 시스템의 여러 장치를 동시에 효과적으로 운영할 수 있어야 한다. 대부분의 모바일 기기에서는 이미 멀티미디어 기기를 제어하도록 하고 있다. 멀티미디어는 사용자에게 편리하고 쉬운 인터페이스를 제공하며 상품의 가치를 높게 끌어 올릴 수 있다. 결과적으로 잘 만들어진 제품을 더욱더 화려하게 만들고 사용자의 구매 욕구를 촉진시킬 수 있다. 대개 다양한 멀티미디어 구현을 위해서 CIS 카메라를 이용하여 사진 캡처 기능을 지원하며 TFT-LCD에 출력되는 그래픽 인터페이스 화면을 터치 스크린을 통하여 제어할 수 있도록 한다. 또한 오디오를 재생할 수 있도록 함으로써 보고 듣고 만질 수 있는 제품을 구현하는 것이 일반적이다.

마. 네트워크 통신

모바일 기기의 특성상 펌웨어 업데이트나 제품 간에 자료를 주고받기 위해서는 유선과 무선 통신 인터페이

스가 모두 필요하다. 유선통신으로는 대표적인 고속 유선통신을 사용하여 사용자 데이터를 읽고 쓸 수 있으며 시스템의 업데이트를 손쉽게 할 수 있게 한다. 무선 통신은 모바일 기기의 확장성을 위해서는 반드시 필요하며 이때, 전력소모를 최소화해야 하며 보안을 위한 암호화가 필요하다.

2. 하드웨어 플랫폼 사양 및 설계

본 절에서는 앞에서 제시한 플랫폼 개발에 필요한 요소기술들을 만족할 수 있도록 최적화된 하드웨어 플랫폼의 설계 사양을 구성하였다. 특히 외부의 다양한 멀티미디어 지원 장치들의 제어 시 발생하는 성능저하를 감소시킬 수 있는 하드웨어로 선택하였다.

가. 프로세서

멀티미디어 장치들의 지원을 위해서 I/O 컨트롤러와 DMA기능을 포함하는 프로세서인 텔레칩스사의 TCC8300^[7]을 선택하였다. TCC8300은 ARM 9 코어 기반의 멀티미디어 프로세서이며 내장 하드웨어로는 DMA 컨트롤러를 통해서 제어되는 TFT-LCD 컨트롤러(RGB 인터페이스, i80형 CPU 인터페이스), CIS 컨트롤러, USB 2.0 장치가 있어 스트리밍 데이터를 I/O를 통해서 읽거나 쓸 경우에 CPU의 성능저하를 최소화할 수 있다. 그 밖에도 JPEG 코덱, MPEG4 코덱, 그래픽 엔진 등이 있다.

나. 메모리

메모리는 가장 낮은 전압으로 동작하는 모바일용 SDRAM 중에 하나로써 저전력 특성을 만족하는 하이닉스사의 HY5S7B2LF(P)^[8]을 선택하였다. 그리고 부트로더, 운영체제 커널, 파일 시스템과 사용자 데이터를 저장하기 위해서 삼성전자의 NAND Flash로는 K9K8G08U0M-YCBO^[9]을 선택하였다.

다. 멀티미디어 지원 장치

멀티미디어 지원 장치들은 사용자가 보고 만지고 들을 수 있도록 다양한 기능을 제공하여주는 장치들이다. 그러한 대표적인 기능을 구현하기 위해서 TFT-LCD, CIS 카메라, 오디오 기능을 지원한다. 먼저, Casio사의 MSK2844^[10]를 이용한 2.6인치 LCD모듈(400x240, 26만 색상)과 Himax Technologies사의 HX8347^[11]을 이용한 2.4인치 LCD모듈(320x240, 6만5천 색상)이 각각 사용되

었다. 두 TFT-LCD는 모두 터치스크린을 포함하고 있다. CIS 카메라는 삼성전자의 S5K4BAFB^[12]를 이용한 UXGA 카메라 모듈(1600x 1200, 2M 해상도)과 MagnaChip 사의 MC501CB^[13]를 이용한 VGA 카메라 모듈(640 x 480, 300k 해상도)이 각각 사용되었다. TCC8300에는 오디오 코덱이 없어 Wolfson Microelectronics 사의 WM8731^[14]을 사용하여 2채널 스테레오 오디오를 재생할 수 있도록 하였다.

라. 네트워크 통신장치

통신은 유선과 무선통신을 지원하도록 설계하였다. 플랫폼을 PC와 연결하여 NAND Flash 메모리에 데이터를 읽고 쓰고 소프트웨어 업데이트를 위한 USB 인터페이스와 각 응용제품에 무선 통신을 위한 ZigBee^[5]와 IrDA를 각각 사용하였다. IrDA 통신용으로는 MCP 2120^[15]을, ZigBee 통신용 칩으로는 레이디오펠스사의 ZigBee 단일 칩 솔루션인 MG2455^[16]를 선택하였다. 특히, 저전력 구현을 위해서 개발된 통신프로토콜인 ZigBee의 경우 속도가 Bluetooth나 WiFi에 비해서 상대적으로 느릴 수 있으나 노드의 수를 65536개 이상으로 증가시킬 수 있으며 Ad-Hoc방식으로 각 노드끼리 Host가 필요 없이 통신을 할 수 있는 장점이 있다. 그리고 MG2455의 경우 통신 속도를 1Mbps까지 지원하기 때문에 고용량의 사진이나 실시간 동영상 전송을 제외하고는 시스템 제어를 위해서는 부족함이 없다.

그림 3은 앞에서 설계한 사양들을 만족하는 하드웨어 플랫폼이며 각 장치들에 대한 동작흐름을 나타낸다. TCC8300과 MG2455사이에는 UART 통신을 하며 무선 송신 및 수신 데이터를 두 칩 간에 주고받을 수 있다.

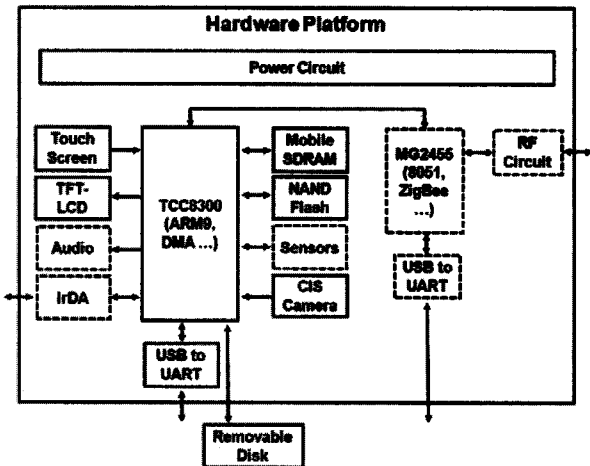


그림 3. 하드웨어 플랫폼
Fig. 3. Hardware Platform.

점선으로 표시된 항목들은 플랫폼의 특성에 맞춰서 기능을 추가하거나 제거할 수 있다.

3. 소프트웨어 플랫폼 사양 및 설계

가. 운영체제

운영체제는 멀티미디어 장치들의 효율적인 운영을 위해서 반드시 필요하며 발생하는 기술비용을 없애기 위해서 오픈소스 기반의 임베디드 리눅스^[17~18]를 선택하였다. ZigBee 통신 시스템을 제어하기 위해서는 역시 오픈소스 기반의 TinyOS^[19~20]를 선택하였다.

나. GUI 프로그램

GUI 프로그램 제작 시 개발자의 개발을 지원할 수 있는 많은 API가 있어야만 하는데 GTK+^[21~22]는 오픈소스 이면서도 다양한 기능의 라이브러리가 제공된다. GTK+를 가동하기 위해서는 TinyX^[23]가 먼저 수행되어 GUI 응용프로그램이 운영체제 상에서 효율적으로 동작할 수 있도록 자원을 제공해야 한다.

다. 소프트웨어 플랫폼

그림 4는 소프트웨어 플랫폼 내부의 구성요소들 간에 데이터의 흐름을 나타내고 있다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 하드웨어의 구성에 따라서 추가하거나 제거할 수 있다.

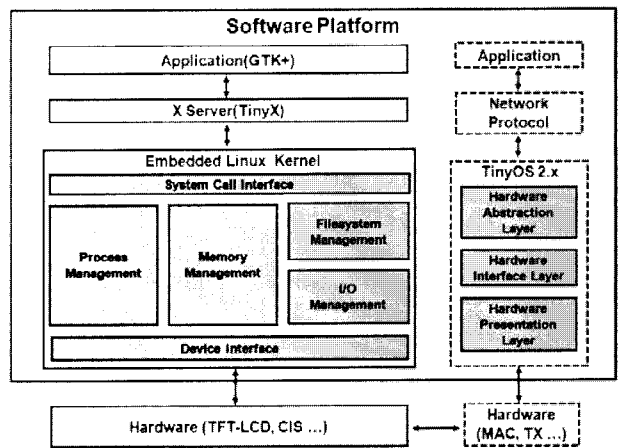


그림 4. 소프트웨어 플랫폼
Fig. 4. Software Platform.

(1) 리눅스 운영체제

대표적인 오픈소스 운영체제로써 개인용 PC, 각종

기 때문에 CPU가 이를 처리하는 시간이 증가한다. CIS 인터페이스와 마찬가지로 처리 효율을 극대화하기 위해서 DMA로부터 출력할 이미지 데이터를 가져와 LCD I/O 컨트롤러를 통해서 LCD에 출력할 수 있다.

나. 계산량 감축

카메라에서 보내오는 영상 데이터는 YUV 신호이고 LCD에서 이를 디스플레이 하려면 RGB 신호로 보내주어야 한다. 이를 변환할 때 부동소수형 변수를 사용하여 계산하면 깨끗한 화질을 얻을 수 있으나 초당 처리되는 프레임 수가 적다. 정수형 변수를 사용할 경우 초당 처리되는 프레임 수는 증가하나 오버플로우 때문에 이미지 일부분에서 잘못된 색상이 나타난다^[26].

TCC8300의 내부에는 하드웨어적으로 YUV를 RGB로 변환해주는 기능이 있다. 변환 하드웨어를 활성화시키기 위해 레지스터에 설정 코드를 넣어 주고 정의된 저장순서에 맞게 YUV 데이터를 프레임 버퍼에 저장하면 RBG 데이터를 얻을 수 있다. 이 기능을 이용하면 CPU의 부하를 줄여 성능을 향상시킬 수 있다.

III. 실험

1. Characterization

설계한 플랫폼의 각 장치별 전력소모를 분석하기 위해서는 플랫폼 내부에서 전력을 소모하는 장치들이나 실행조건에 대해서 활성화 또는 비활성화 하여 발생하는 전력소모를 측정한다. 이러한 활성화 여부와 측정치를 사용하여 성능과 전력소모량에 대한 예측모델을 제시한다. 그 수식을 수식 1과 같은 선형수식^[27]으로 나타내었다. N은 플랫폼에서 활성화되는 장치들과 조건의 수를 나타낸다. 장치의 활성화 여부 (c_i)에 따라 소모전력(f_p)이 측정되므로 각 장치가 소모하는 전력 (P_i)을 계산해 낼 수 있다.

$$f_p = \sum_{i=1}^N c_i P_i \tag{1}$$

프레임 변환 성능과 이에 대한 프레임별 전력소모를 분석하기 위해서는 프레임 변환 시 활성화 하여야 하는 장치들이 소모하는 전력과 초당 변환되는 프레임의 수를 알아야 한다. 수식 2에 프레임 당 발생하는 소모전력을 정리하였다. 분자 부분은 활성화 되는 장치들의 전력소모량이고 분모 부분은 1초 동안 발생하는 프레임

변환 완료 신호의 수이다.

$$f_{PPF} = \frac{\sum_{i=1}^N c_i P_i}{SIG_{Frame}} \tag{2}$$

2. 실험 및 측정

가. 병렬 하드웨어 별 전력소모 측정

활성화된 병렬 하드웨어의 활성화 조합에 대하여 전력을 측정한다. 측정 장비는 에질런트사의 N6705A^[28] 장비를 이용하여 측정한다. 전력측정을 위해서 조합할 목록은 1) 정수형 RGB 변환 소프트웨어 사용, 2) 부동소수형 RGB 변환 소프트웨어 사용, 3) RGB 변환 하드웨어 사용, 4) TFT-LCD I/O 컨트롤러와 DMA 사용, 5) TFT-LCD I/O 컨트롤러와 DMA 미사용, 6) 오디오 재생, 7) ZigBee 회로 사용 등이다. 나열한 조건들을 실제 제품의 동작 시 필요한 조합으로 구성하여 실험하게 될 과정을 그림 6에 나타내었다. 기본적으로 하드웨어와 소프트웨어의 초기화 처리가 끝나면 측정 장비와 정해진 조건을 적용하여 전력소모를 측정한다.

그림 7은 실험에서 병렬 하드웨어의 각 활성화 조합에 대한 소모 전력을 나타낸다. 병렬 하드웨어의 모든 기능을 활성화한 상태(979.3 mW)에서 오디오를 동작시켰을 경우 전력소모가 약 1.5% 증가(993.7 mW)한 반면, ZigBee를 최대출력으로 동작시켰을 경우 전력소모

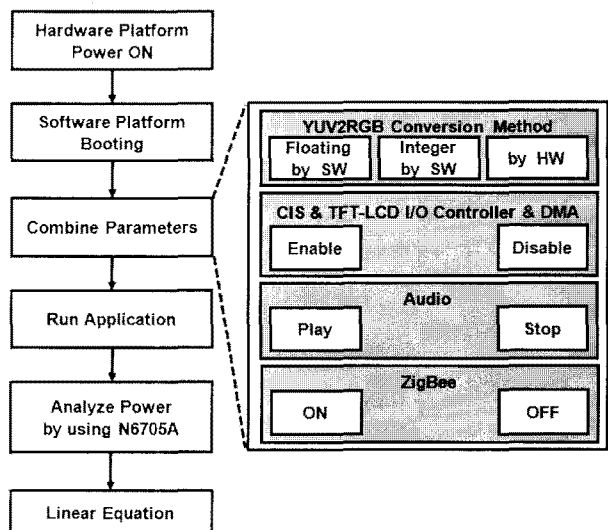


그림 6. 전력소모량 측정 순서
Fig. 6. Power Consumption Analysis Flow.

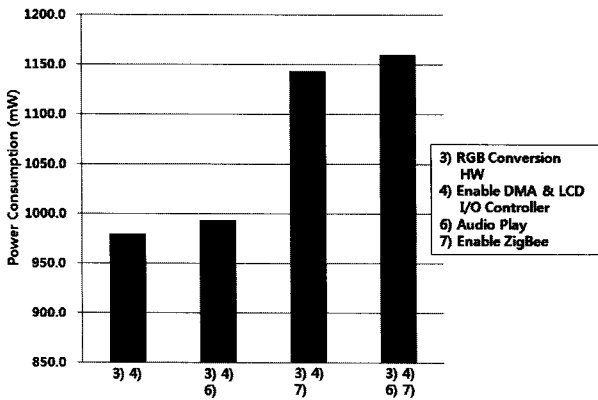


그림 7. 전력소모량
Fig. 7. Power Consumption.

는 약 16.7% 증가(1143.1 mW)하였다. 이를 통해서 전력소모를 최소화하기 위해서는 통신을 사용하지 않을 경우 반드시 통신회로를 정지시켜야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

나. 병렬 하드웨어 별 성능 측정

각 활성화 조합에 따라 초당 TFT-LCD에 표시되는 초당 프레임 수를 측정한다. 이 때, 측정을 위한 조합목록은 1) 정수형 RGB 변환 소프트웨어 사용, 2) 부동소

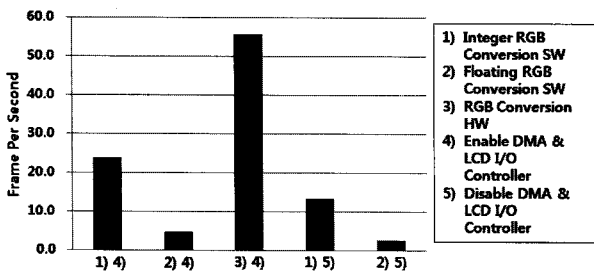


그림 8. 초당 프레임 수
Fig. 8. The Number of Frames Per Seconds.

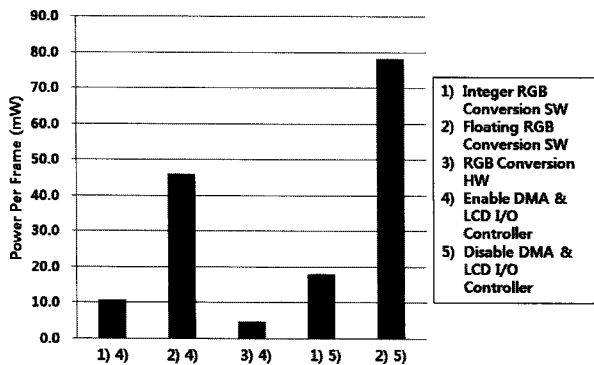


그림 9. 프레임 당 전력소모량
Fig. 9. Power Per Frame.

수형 RGB 변환 소프트웨어 사용, 3) RGB 변환 하드웨어 사용, 4) TFT-LCD I/O 컨트롤러와 DMA 사용, 5) TFT-LCD I/O 컨트롤러와 DMA 미사용 등이다. 먼저 하드웨어와 소프트웨어의 초기화 처리가 끝나면 내부 소프트웨어를 이용하여 초당 프레임 수를 측정하였으며 그림 8에 이를 그래프로 정리하였다. 병렬 하드웨어의 기능을 사용(3) 4))할 경우(55.7 FPS)가 모든 기능을 소프트웨어로 구현(2) 5))하여 사용할 경우(2.7 FPS) 보다 약 20.6배 빠른 성능을 보인다.

다. 프레임 당 소모전력

병렬 하드웨어의 각 활성화 조합에 대하여 프레임 당 소모되는 전력량을 산출하여 그림 9에 나타내었다. 병렬 하드웨어를 사용할 때의 성능대비 전력소모량(4.7 mW)이 병렬 하드웨어를 사용하지 않을 때의 전력소모량(81.3 mW)보다 약 17.3배 적게 나타났다.

라. 픽셀 처리량을 기준으로 한 성능 모델

병렬 하드웨어가 처리할 수 없는 작업은 그대로 CPU의 몫이다. 따라서 응용 제품이 요구하는 작업 종류에 따라 CPU의 처리 부담이 증가할 수 있고 성능 저하로 이어진다. 그림 8로부터 각 병렬 하드웨어가 CPU의 부담을 얼마나 덜고 있는지, 그리고 CPU가 처리할 수 있는 작업량은 얼마인지 분석해 낼 수 있으며 표 4에서 이를 계산하고 있다. 각 픽셀 당 LCD 표시 작업 (t_{LCD}), RGB 변환 작업(t_{CONV}), 그 밖의 작업(t_{CHORES})들 중 활성화 조합에 따라 몇 개는 병렬 하드웨어가 처리하고 나머지를 CPU (α_{CPU})가 처리하는데 그 때 초당 처리된 픽셀 수가 달라진다. 따라서 CPU의 처리 능력은 다음과 같이 상대적인 값으로 환산된다.

$$\alpha_{CPU} = 4.0 \times 10^6 t_{CONV} = 4.9 \times 10^6 t_{LCD}$$

응용 제품에서 필요한 연산 중 병렬 하드웨어에서 처리할 수 없는 것을 t_{CONV} 혹은 t_{LCD} 단위로 환산할 수 있다면 성능을 예측할 수 있다.

표 4. 병렬 하드웨어의 의해 감소된 CPU의 처리량
Table 4. Processing Rate of CPU Reduced Due to Parallel Hardware.

조합	3) 4)	3) 5)	1) 5)
수식	$\frac{\alpha_{CPU}}{t_{CHORES}}$	$\frac{\alpha_{CPU}}{t_{CONV} + t_{CHORES}}$	$\frac{\alpha_{CPU}}{t_{LCD} + t_{CONV} + t_{CHORES}}$
pixels/sec	5.11M	2.23M	1.23M

3. 응용 제품 사례

개발한 네트워크 임베디드 시스템 플랫폼의 휴대성과 길게는 수백 미터에 달하는 무선통신기능을 활용하여 다양한 응용제품들을 개발할 수 있는데 그 응용분야로는 야외용 측정 시스템으로써 음주측정기, 과속단속기, 아파트나 주택가의 전기 및 가스 검침 시스템 등이 있다. 이번 장에서는 플랫폼을 응용하여 실제 ZigBee 모바일과 미래형 음주측정기를 제작하여 시스템의 동작을 검증하였다.

가. ZigBee 모바일

CIS 카메라, TFT-LCD, 터치스크린, 스테레오 사운드 출력 등을 통해서 보다 다양한 멀티미디어 기능을 제공하고 ZigBee 통신을 통해서 단말기 간에 데이터(문자, 이미지 등)를 주고받을 수 있는 근거리 네트워크 기능을 제공한다. 하드웨어는 ZigBee 통신을 통해서 텍스트 메시지나 기타 정보를 다른 사용자와 주고받을 수 있으며 CIS 카메라를 통해서 사진을 캡처하고 TFT-LCD상에 출력된 GUI를 통해서 장치를 제어할 수 있다. 그리고 오디오를 통해서 음원파일을 재생할 수 있도록 제작하였다. 소프트웨어는 리눅스 운영체제상에서 동작하는 응용프로그램에서 무선으로 보낼 데이터를 TinyOS 쪽으로 전달하게 되면 TinyOS가 MAC 프레임에 사용자 데이터를 추가하여 전달하는 방식이다.

그림 10은 CIS I/O 컨트롤러, TFT-LCD I/O 컨트롤러, i80형 CPU 인터페이스 기능을 활성화 하였고 부동소수형 RGB 변환 소프트웨어를 이용하여 CIS 카메라

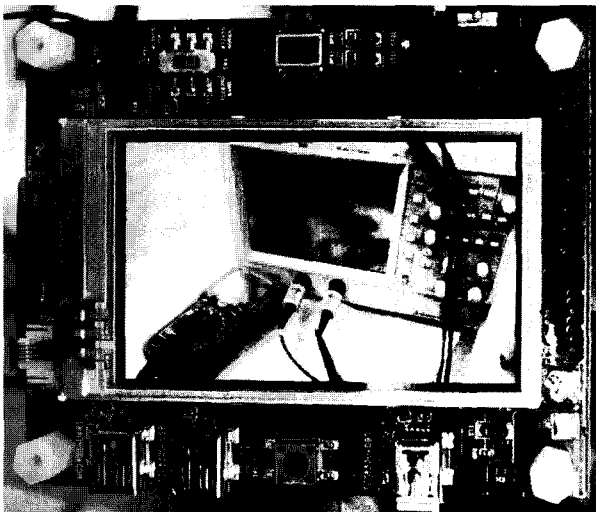


그림 10. CIS 카메라
Fig. 10. CIS Camera.

데이터를 TFT-LCD상에 출력하고 있는 사진이다.

나. 미래형 음주측정기

개발된 플랫폼을 이용하여 음주측정기를 제작하였다. 개발한 음주측정기는 TFT-LCD, 터치스크린, CIS 카메라 등을 이용하여 GUI 환경을 제공하고 측정 정보를 전부 전산화 하여 PC에 저장할 수 있다. 또한 적외선 통신 포트를 통해서 적외선 프린터에도 데이터를 전달할 수 있다.

메인보드는 6층으로 설계되었으며 개발한 하드웨어 플랫폼을 기초로 하여 제작되었다. Sensor를 통해서 호흡 중 알코올 농도를 측정하며 CIS 카메라를 통해서 피 측정자의 얼굴을 캡처할 수 있으며 이때 제어는 TFT-LCD 및 터치스크린을 이용한 GUI를 사용하게 된다. 그리고 IrDA를 통해서 적외선 프린터로 데이터를 전송하여 인쇄할 수 있게 하였으며 이동식 디스크를 통해서 측정된 데이터를 PC로 내려 받을 수 있게 개발하였다. 그림 11과 그림 12는 완성된 하드웨어 사진이다.

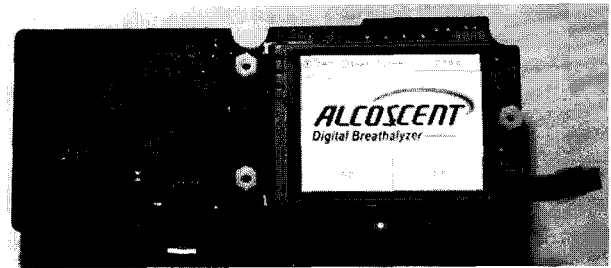


그림 11. 메인보드의 앞면
Fig. 11. The Front of Main Board.

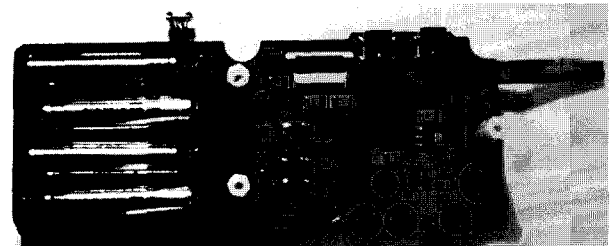


그림 12. 메인보드의 뒷면
Fig. 12. The Back of Main Board.

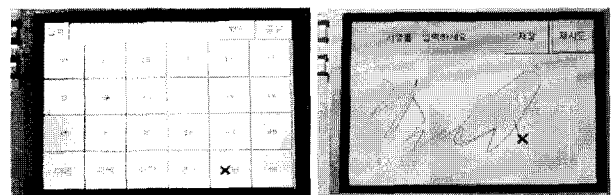


그림 13. 터치스크린 입력
Fig. 13. Touch Screen Input.

리눅스를 이용하여 응용프로그램과 장치드라이버를 통해서 하드웨어를 제어한다.

터치스크린은 4 Wire Resistive 방식이며 TFT-LCD 화면 해상도(320x240)를 전부 포함하고 있다. 이를 이용하여 그래픽 인터페이스의 버튼을 이용하여 음주측정기를 제어하거나 글자입력 및 서명 등을 입력할 수 있다. 그림 13은 터치 스캔을 이용하여 버튼 및 글자를 입력하고 서명하는 것을 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 저성능 임베디드 시스템에 의존해온 산업용 제어 분야에서 저전력, 저비용, 고성능을 만족시키는 제품을 편리하게 개발하기 위한 플랫폼의 개발을 기술하였다.

먼저 기존 기술이 지원하지 못했던 다양한 주변장치 처리를 지원하기 위해 병렬 하드웨어 기능을 가지는 멀티미디어 프로세서를 이용하여 하드웨어 플랫폼을 개발하였다. 그리고 기존의 단일 응용 소프트웨어 방식이 실시간 처리에 불리한 점을 해결하기 위해서 운영체제 기반의 소프트웨어 플랫폼을 개발하였고 장치드라이버와 응용프로그램을 분리하였다. 이 때, 개발과정에서 발생하는 기술 비용을 최소화하기 위해서 오픈 소스 기반의 운영체제와 GUI 라이브러리를 이용하였다.

개발된 플랫폼을 이용한 실험 측정을 통해서 성능 및 프레임별 변환 시에 소모되는 전력을 계산하였고 플랫폼의 각 부분별 동작에 대한 전력소모량을 측정하여 응용 제품 개발 시 필요한 전력과 성능을 예측할 수 있도록 하였다. 또한, 이를 활용하여 직접 시제품을 제작해 봄으로써 신뢰성을 입증하였다.

이 플랫폼은 저성능의 산업용 임베디드 시스템을 저비용, 저전력, 고성능의 요소들을 만족시키는 제품으로 새롭게 개발하고자 할 때 기술비용 및 불확실성에 기인한 위험성을 최소화하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] "DA-5000," http://www.datech.co.kr/da5000_oveview.html, DATech, 2008.
- [2] "일괄소등스위치, 감성조명," <http://www.dasangng.co.kr/>, 다신지엔지, 2009.
- [3] "CDP-1020H/700H," <http://www.commax.com/>, COMMAX, 2009.
- [4] "NB-PLUS," <http://www.netblue.co.kr/>, NETBLUE, 2009.
- [5] "ZigBee," <http://www.zigbee.org/>, ZigBee Alliance, 2009.
- [6] "QT," <http://qt.nokia.com/>, Nokia, 2009.
- [7] "Specification TCC8300," Telechips, 2008.
- [8] "HY5S7B2LF(P)," [http://www.hynix.com/datasheet/pdf/dram/HY5S7B2LF\(P\)-xE_series\(Rev1.0\).pdf](http://www.hynix.com/datasheet/pdf/dram/HY5S7B2LF(P)-xE_series(Rev1.0).pdf), Hynix, 2007.
- [9] "K9K8G08U0M," <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/104336/SAMSUNG/K9K8G08U0M.html>, Samsung, 2005.
- [10] "MSK2844," <http://devicemart.co.kr/mart7/mall.php?cat=003011001&query=view&no=22134%3Cbr%20/%3E>, Casio, 2009.
- [11] "HX8347," <http://www.trulydisplays.com/tft/driver/TFT%20IC%20Spec%20for%20-148W%20Himax%20HX8347.pdf>, Himax, 2007.
- [12] "S5K4BAFB," [S5K4BAFB_EVT1_DS_R007_080229.pdf](http://www.samsung.com/Products/Display/Products/S5K4BAFB_EVT1_DS_R007_080229.pdf), Samsung, 2009.
- [13] "MC501CB," <http://www.magnachip.com/eng/download/MC501CB.pdf>, Magna Chip, 2006.
- [14] "WM8731L," http://instruct1.cit.cornell.edu/Courses/ece576/DE2_Datasheets/Audio%20CODEC/WM8731_WM8731L.pdf, Wolfson Microelectronics, 2004.
- [15] "MCP2120," <http://www1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00756a.pdf>, Microchip, 2001.
- [16] "MG2455-F48 Datasheet," Radio Pulse, 2007.
- [17] "Linux Platform Device Driver," <http://www.mjmwired.net/kernel/Documentation/driver-model/platform.txt>, 2008.
- [18] Jonathan Corbet, Alessandro Rubini and Greg Kroah-Hartman, "Linux Device Drivers," O'Reilly, Third Edition, 2005.
- [19] "TinyOS," <http://www.tinyos.net>, UC Berkeley, 2004.
- [20] 김대남, 오연보, 김교선, "8051 기반의 단일 칩 무선 센서 네트워크 플랫폼에 TinyOS 2.0 이식," 2007 SoC 학회, 2007.
- [21] "The GTK+ Project," <http://www.gtk.org/>, The GTK+ Team, 2008.
- [22] Andrew Krause, "Foundations of GTK+ Development," Apress, 2007.
- [23] Juliusz Chroboczek, "The KDrive TinyX Server," <http://www.pps.jussieu.fr/~jch/software/kdrive.html>, 2008.
- [24] "Video for Linux Two," <http://www.thedirks.org/v4l2/>, 2005.

- [25] "Nano Q Plus," <http://www.itec.re.kr/itec/main/index.do>, 2009.
- [26] "YUV2RGB Conversion," <http://elm-chan.org/works/yuv2rgb/report.html>, 2002.
- [27] Donghoon Lee and others, "An Energy Characterization Framework for Software-Based Embedded Systems," Proceedings of the 2006 IEEE/ACM/IFI Workshop, pp. 59-64, 2006.
- [28] "N6705A," <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?cc=KR&lc=kor &ckey=1123271&mid=-35714.656338.00&id=1123271>, Agilent, 2009.

 저 자 소 개



김 대 남(학생회원)
 2008년 인천대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2010년 인천대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 <주관심분야 : Sensor Networks,
 Embedded Systems>



김 교 선(정회원)
 1986년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1988년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1998년 Ph.D. Department of
 Electrical & Computer
 Engineering, University
 of Massachusetts, Amherst,
 U.S.A.

1988년~2003년 삼성전자 CAE Center 주임,
 선임, 책임, 수석연구원.

현재 인천대학교 공과대학 전자공학과 부교수
 <주관심분야 : 상위수준합성, Reconfigurable
 Computation, Fault-Tolerance, Embedded
 Systems, Low-Power Design, Nanoelectronic
 Architectures>