

# 임베디드 리눅스 기반의 휴대형 EPD 디스플레이 검사장치 설계 및 구현\*

남영진\*, 이종태\*, 박영균\*, 김정목\*\*, 김응률\*\*

\*대구대학교 컴퓨터·IT공학부

\*\* (주)AITECH

\*e-mail: [yjnam@daegu.ac.kr](mailto:yjnam@daegu.ac.kr)

## Design and Implementation of an Embedded Linux-based Mobile EPD Display-module Testing Device

Young-Jin Nam\*, Jong-Tae Lee\*, Young-Kyun Park\*,

Jung-Mok Kim\*\*, Eung-Ryul Kim\*\*

\*School of Computer and Information Technology, Daegu University

\*\* AITECH

### 요 약

디스플레이 모듈 검사 장치는 디스플레이 모듈 제조공정 및 품질보증부서에서 주로 사용되며, 디스플레이 모듈의 불량유무를 확인하여 디스플레이 출하 제품의 품질을 높이는 장비이다. 기존의 검사장비는 부피가 크고 별도의 프로그램을 통하여 PC에서 제어하는 형태로 되어 사용이 불편하고 휴대가 어려운 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 소형 휴대형 디스플레이 모듈 검사 장치를 설계 및 구현하였다. 설정데이터 전송 및 1600\*1200크기의 EPD 디스플레이에 JPEG/BMP정지영상을 출력하여 BMP재현함으로 검사기기의 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 사회는 컴퓨터 및 정보통신의 발전으로 사회 전 분야에서 정보화가 이루어지고 있다. 따라서 초고속 통신망에 의해 수많은 정보가 디지털화되고 디지털화된 정보가 상품화되어 다양한 전자제품 및 휴대기기를 통하여 사용자에게 전해지고 있다. 특히 최근 빠른 속도로 성장하고 있는 스마트 폰을 통하여 이러한 정보를 습득 및 사용하는 사용자들이 늘어 가고 있는 상황이다. 이러한 휴대용 모바일 기기 및 전자제품의 디스플레이 장치는 사용자에게 정보를 전달하며 사용자가 원하는 정보를 받아들이는 정보와 사용자간의 대화의 창으로 사용되고 있다.

휴대용 모바일 기기의 디스플레이 장치의 종류에는 LCD(Liquid Crustal Display) 및 OLED(Organic Light Emitting Diode)와 다양한 휴대용 기기의 발전으로 개발된 MDDI(Mobile Display Digital Interface), MIPI(Mobile Indusy Processor Interface), 또 전자종이로 알려진 EPD(Electro Phoretic Display, 전기영동 디스플레이)등 다양한 디스플레이가 모듈이 개발 및 출시되고 있다. 이렇게 다양한 디스플레이 모듈은 검사 장비를 통하여 최종출하 단계에 앞서 제조업체에서 생산 제품의 불량여부를 검사하기 위해서 사용자(검사자)가 정해 놓은 이미지 패턴을 검사대상의 디스플레이 모듈을 통해 보여주면서 불량화소를 검사하게 할 뿐 아니라, 모듈의 전기적 상태를 검사하

도록 해주는 장치를 디스플레이 검사 장치라고 한다. 하지만 이러한 역할을 하는 기존의 디스플레이 검사 장치는 몇 가지 문제점이 존재한다. 첫 번째로 기존 검사 장치의 부피가 커서 휴대성이 떨어지며 직관적이지 않은 인터페이스로 인한 검사 장치 조작에 어려움이 있어 숙련되지 않은 사용자(검사자)가 검사를 수행함에 있어 많은 어려움이 있다. 두 번째로 기존 휴대형 디스플레이 모듈 검사 장치들은 LCD, OLED 디스플레이 장치 그리고 RGB/CPU 방식의 인터페이스만을 지원하며, 차세대 디스플레이 인터페이스 기술인 MDDI, MIPI, EPD 인터페이스 등의 방식을 포함한 확장 가능한 검사장치가 없다. 세 번째로 기존 검사 장치들은 독립적인 검사를 수행하기보다 PC와 연동되어 검사를 진행하는 구조를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 임베디드 리눅스 기반의 휴대가 가능하고 확장성이 있으며 독립적인 검사를 수행 가능한 휴대형 디스플레이 모듈 검사 장치를 설계 및 구현을 바탕으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 소개하고 3장에서는 설계한 휴대용 디스플레이의 구성을 소개하며 4장에서는 S3C2410과 FPGA를 기반으로 설계 및 구현한 결과를 검증하여 연구결과의 적합성을 보이며 5장에서는 결론을 지음으로 본 논문을 마무리할 것이다.

### 2. 배경지식 및 관련 연구

#### 2.1 디스플레이 모듈 검사장치의 동향

기존 디스플레이 모듈 검사 장치는 디스플레이 모듈 제조공정 및 품질보증부서에서 주로 사용되며 디스플레이 모듈의 불량유무를 조기에 발견하게 하는 메커니즘을 갖는 검사 장치이다. 오늘날 TFT LCD/OLED 모듈의 크기

\* 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2010-C1090-1031-0009)의 연구결과로 수행됨

는 많은 종류를 보유하고 있으나, 디스플레이 모듈 검사 장치의 경우 디스플레이 모듈 검사 시 동일한 디스플레이 모듈과 인치 크기에 제약이 있어, 가변적인 디스플레이 모듈 검사가 불가능하다. 또한 고해상도, 동작 속도 등 다양한 검사를 지원하는 검사 장비가 없다. 또 설계를 한다 하여도 설계비용 문제로 인한 어려움이 있다. 특히 국내외에서 디스플레이 모듈의 수요가 점차 증가하여 다양한 디스플레이 인터페이스를 위한 모듈검사 장치의 확보가 시급한 실정이다[1,2].

### 2.2 다양한 디스플레이 종류

모바일 디스플레이 장치 인터페이스의 종류는 CPU 인터페이스, RGB 인터페이스, 시리얼 인터페이스가 있으며 각각의 인터페이스 방식에 따라 제어 신호가 다르다. 기존의 모바일 디스플레이는 CPU 또는 RGB 인터페이스를 사용하며, CPU 인터페이스의 경우 80계열 68계열의 MPU의 제어 신호에 따라 데이터를 전송하는 인터페이스 방식이다. RGB 인터페이스는 동영상을 위한 인터페이스로 모니터와 노트북에서 사용하는 VSYNC, HSYNC, ENABLE, DOTCLK 등과 같은 제어 신호를 사용한다. RGB 인터페이스는 드라이버 IC의 초기화를 위한 명령어로 CPU 인터페이스의 병렬방식 또는 시리얼방식으로 전송하며 이미지 데이터의 경우 RGB 인터페이스로 전송한다. 이러한 RGB 인터페이스 신호는 일반적으로 동영상을 많이 사용하는 TFT-LCD에 적용되고 플리커 발생이 적은 장점을 가지고 있으며 CPU 인터페이스와 달리 RAM을 사용하지 않아도 되는 장점을 갖는다[3].

또한 최근 주목을 받기 시작하며 급성장하고 있는 전자종이로 알려진 EPD(전기영동디스플레이)방식의 디스플레이는 다양한 구동방식이 존재한다. Gyricon의 twist ball display, Sony의 electrochemical deposition display, Kent Display의 cholesteric liquid crystal display, electrochromic display, Bridgestone에서 개발한 QRLPD(Quick Response Liquid Powder Display) 기술, electrowetting display 등이 대표적으로 구동되는 방식이다. 이러한 전자종이의 상당부분은 반사형 디스플레이(reflective display)로서 기존종이와 잉크처럼 높은 해상도, 넓은 시야각, 밝은 흰색배경과 흑색입자간의 높은 대조비에 의한 우수한 가독성을 가지며 전원을 차단한 후에도 표시한 정보를 표현하고 있으며 일정한 정보유지에 지속적인 에너지 소모가 없는 장점이 있다[4].

MDDI(Mobile Display Digital Interface)는 Qualcomm에서 제안한 방식으로 외부장치(LCD, 카메라, 사운드장치 등)와의 통신을 고속 직렬 전송방식으로 하나의 채널로 최대 400Mbps로 데이터를 전송할 수 있다[5].

MIPI(Mobile Industry Processor Interface)는 Alliance에서 제안된 차세대 모바일 기기의 인터페이스 표준이다. 이는 휴대용 기기의 인터페이스를 표준화를 진행하고 있는 연합이고 Camera, Display, Audio, Bus등을 비롯한 많은 주제를 다루고 있다. 그 중 MIPI의 M-PHY 표준은 고속 직렬통신 방식으로, 최소 4선만으로도 디스플레이 모듈에 대량의 이미지 데이터를 고속으로 전송할 수 있다. 따라서 적은회선으로도 데이터 전송이 가능하여 회로설계가 간편하며 전자파 간섭 발생이 적은 편이다[6].

### 2.3 임베디드 리눅스 운영체제

임베디드 리눅스는 휴대용 PC, PDA, 휴대폰, PMP등과 같은 기기 또는 마이크로프로세서를 탑재한 가전제품, 공장자동화 기기 같은 내장형 시스템의 운영체제로 사용되고 있다. 현재 임베디드 시스템은 우리 실생활 곳곳에서 사용되고 있다. 최근 몇 년간 소비자의 요구사항을 만족하기 위하여 임베디드 시스템은 소형/경량이면서 직관적인 그래픽 사용자 인터페이스로 사용자로 하여 조작이 쉬우면서 네트워크를 통한 통신기능은 필수적으로 포함하는 형태로 발전하고 있다. 이러한 장점들을 충분히 반영하고 라이선스 비용이 들지 않는 장점을 가진 것이 바로 리눅스 운영체제 라고 할 수 있다.

### 3.휴대용 디스플레이 모듈 검사장치 설계 및 구현

본 논문에서 제안하는 휴대용 디스플레이 모듈 검사 장치는 LCD, OLED 등 상용화 되어 있는 디스플레이뿐만 아니라 EPD, Flexible Display 등 개발 또는 초기 시제품 생산 단계인 차세대 디스플레이도 적용이 가능하도록 하드웨어를 모듈화 하여 설계 하였다. 앞서 설명한 기존의 디스플레이 모듈 검사기의 단점을 보완하기 위해 하드웨어 및 소프트웨어를 새롭게 구성하였다.

설계 및 구현된 휴대용 디스플레이 검사장치의 전체 시스템 구성은 그림1과 같이 구성되어 있으며 ARM9계열의 S3C2410 MCU기반 휴대용 디스플레이 검사장치 CPU 모듈카드, 디스플레이 검사 파워모듈카드 및 디스플레이(EPD) 검사 FPGA 모듈카드가 포함되어 있다. 또 키패드, 4.3인치 LCD, 메모리 인터페이스(SDRAM, NOR Flash)와 메모리 확장을 위한 SD/MMC카드, USB를 지원한다. 휴대용 디스플레이 모듈 검사 장치는 그림 2와 같은 외형을 지니고 있으며 그림3과 같은 모듈 보드 형태로 구성되도록 설계되어 있다. 또 QT/Embedded를 이용한 그래픽 사용자 인터페이스를 가지며 최근 급성장하는 EPD 디스플레이를 중점으로 설계되었고 기존 검사기 대비 부피가 70% 감소, 무게는 2kg 미만을 목표로 휴대가능 하도록 설계 되었다.



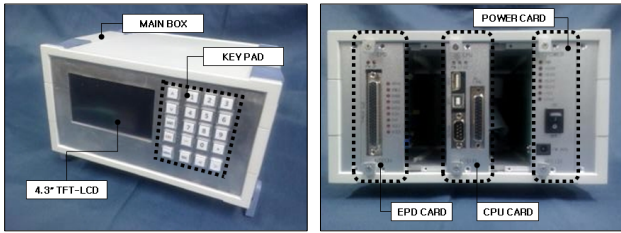
(그림 1) 검사장치 H/W 및 S/W구조

### 3.1 휴대용 모듈 검사장치의 하드웨어

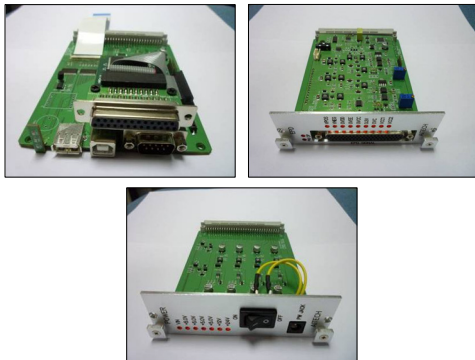
본 논문에서 제안한 휴대용 디스플레이 모듈 검사 장치는 휴대성을 기본으로 설계하여 이동성이 확보 되었으며

그림 3의 모듈 형태로 제작되어 다양한 디스플레이 인터페이스를 지원 가능하도록 되어있다.

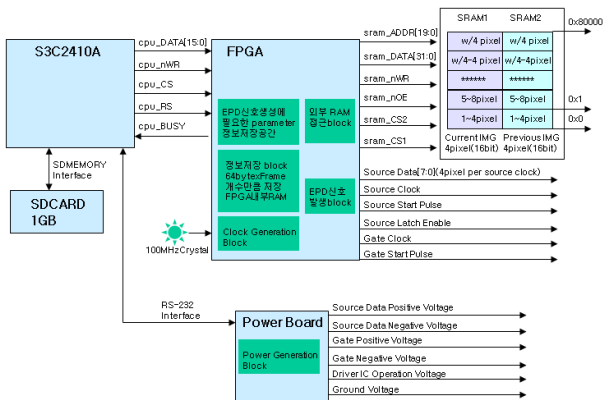
각 모듈 카드 중 CPU 모듈카드는 검사대상 디스플레이의 정보를 담긴 프로젝트 파일의 정보를 FPGA 및 디스플레이 검사 파워모듈카드 내부 레지스터에 시리얼통신 및 리눅스 표준 API를 통하여 각각 전송하며 또한 FPGA모듈카드의 SRAM은 전송된 이미지를 저장하여 FPGA에서 연산 후 검사대상 디스플레이로 이미지 및 패턴 정보를 전송하는 역할을 담당하고 있다. 각 모듈 카드의 연결구조는 그림 4에 자세히 나타나 있다.



(그림 2) 휴대형 디스플레이 모듈 검사 장치 외형



(그림 3) 휴대형 디스플레이 모듈 검사 장치 모듈카드 최측상단(CPU모듈),우측상단(FPGA모듈),하단(전원모듈)



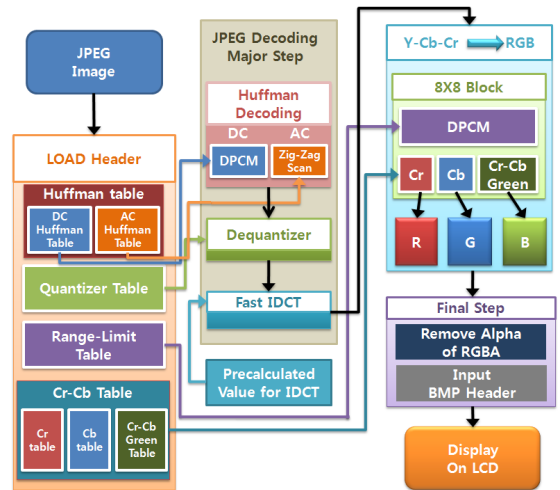
(그림 4) 휴대형 디스플레이 검사기의 CUP와 FPGA/POWER보드의 관계

### 3.2 휴대용 모듈 검사장치의 소프트웨어

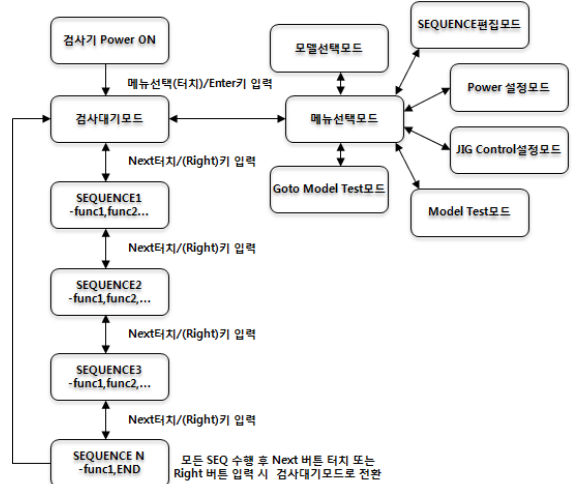
소프트웨어 플랫폼에는 검사 장치용 임베디드 리눅스 (2.4.18) 및 QT/embedded (2.3.2), 검사 장치용 터치스크린, 키패드, SDCard/USB 장치 구동기, Adaptive Display 인터페이스 모듈(FPGA제어/입출력)구동기 그리고 QT/embedded기반 디스플레이 검사장치 응용 프로그램을 설

계하고 이를 포팅 하였다. Adaptive Display 인터페이스 모듈 구동기는 FPGA 제어 I/O, 파워모듈카드 제어 및 처리, 버퍼관리(이미지/설정정보), 검사 단계 상태 제어 및 처리로 구성이 되어 있다. 또 검사 장치 응용프로그램은 프로젝트파일/실행, QT/embedded 기반 사용자 인터페이스, 이미지 압축, JPEG디코더로 구성되어 있다.

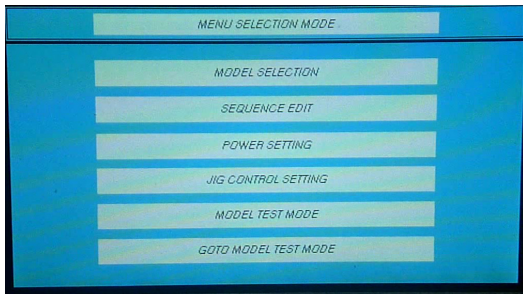
프로젝트파일/실행은 모델별 검사를 위한 설정정보와 사용자(검사자)검사 프로젝트 파일 포맷을 정의하여 최대 30 단계까지의 검사가 가능하도록 하였다. FPGA모듈카드로 전송되는 패턴/이미지는 FPGA모듈카드 내부 SRAM의 크기와 데이터 전송/출력시간을 고려하여 24bit를 4bit의 Gray이미지로 압축하여 전송한다. 또 BMP 파일 형식의 이미지 데이터는 압축되지 않아 용량이 크다는 문제점을 가지고 있다. 이는 임베디드 시스템에서는 많은 제약이 따르며 JPEG디코더를 통하여 문제를 해소하였다. 그래픽 사용자 인터페이스는 그림6과 같은 구조를 지니며 QT/embedded 기반으로 구현하였으며 터치스크린과 Keypad 조작으로 작동한다. 특히 디스플레이 모듈 검사에 필요한 정보들을 다시 읽지 않고 기존의 정보를 바탕으로 재설정 또는 유지 할 수 있도록 구현 되었다. 구현된 그래픽 유저 인터페이스는 그림 7과 같다.



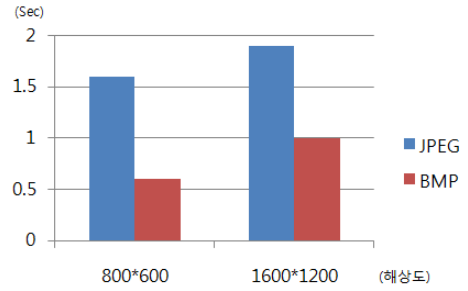
(그림 5) JPEG디코더



(그림 6) 휴대형 디스플레이 검사 장치 GUI 동작 구조



(그림 7) 휴대형 디스플레이 검사 장치 GUI

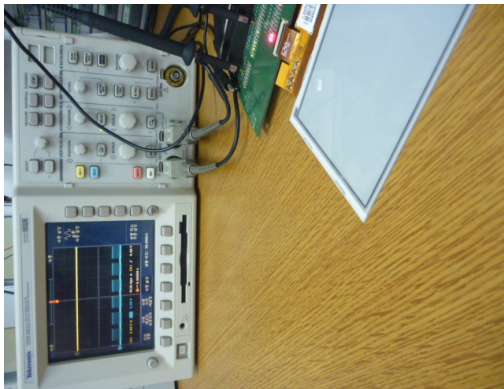


(그림 9) 이미지/해상도에 따른 디스플레이 속도

#### 4. 기능 및 성능평가

제안한 휴대용 디스플레이 모듈 검사장치의 성능을 검증하기 위해 검사대상인 휴대형 EPD 디스플레이 모듈로는 1600\*1200의 해상도의 모듈을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 휴대용 디스플레이 모듈 검사장치의 성능을 평가하기 위해 많은 항목들이 존재 하지만 기능시험 및 성능평가를 우선적으로 하였다.

먼저 정지 영상을 전송 시 FPGA에서 디코딩된 이미지 정보를 EPD 디스플레이에 보여 주는 것을 확인하였다. 실제 EPD 디스플레이에서 이미지를 보여주기 위해서는 내부 레지스터의 값이 설정되어야 하며 설정이후 이미지를 전송하여야만 EPD 디스플레이에 FPGA에서 디코딩된 이미지 정보가 해당 검사모듈에 출력이 된다. 여기에서 이러한 테스트로 FPGA와 EPD디스플레이에 이미지 및 정보가 정확하게 나옴을 확인함으로써 FPGA와 EPD 디스플레이간의 정보가 원활히 전송되고 있음을 보여주고자 한다. EPD디스플레이와 FPGA간의 통신 속도는 100MHz로 설정되어 있으며 테트로닉스社의 오실로스코프로 파형을 확인 및 테스트 하였으며 그 결과는 그림 8과 같다.



(그림 8) 휴대용 디스플레이 검사 장치에서의 이미지/정보 전송 및 신호테스트

1600\*1200크기의 BMP 이미지는 약 2Mbyte의 크기를 지니며 이를 FPGA로 전송하기위해 16비트 Gray Scale로 변환하여 전송하여 검사대상 디스플레이에 출력하는 시간은 약 1초가 걸렸다. 또 동일한 해상도의 JPEG타입의 이미지를 BMP타입으로 변환하여 FPGA로 전송하여 검사대상 디스플레이에 출력하는 시간은 BMP타입의 이미지 파일보다 약1초 정도 더 소요 되었다. 이는 이미지파일 변환 과정에서 1초가 소요되는 것으로 파악되었으며 모든 기능이 잘 작동함을 알 수 있었다.

#### 5. 결론

본 논문을 통하여 제안된 검사 장치는 SC32410 MCU로 구성된 CPU모듈 카드를 중심으로 하여 다양한 휴대형 디스플레이 장치로 확장 가능한 하드웨어 플랫폼과 사용자(검사자)의 편리성을 고려한(터치스크린, 키패드 지원) 임베디드 리눅스 및 QT/embedded 기반 소프트웨어 플랫폼을 개발하고 통합하였다. 그리고 다양한 검사패턴 신호를 위해 FPGA 모듈을 추가적으로 설계 및 개발하여 검사패턴 신호와 OLED(Organic Light Emitting Diode), TFT-LCD 등과 같은 타 디스플레이 모듈로의 적용이 가능한 구조로 설계하였다. 또한 기능시험을 통하여 설정데이터 전송 및 EPD디스플레이에 정지영상 및 슬라이더 영상을 보내어 재현함으로써 검사기기의 성능을 검증하였다. 향후 연구는 추가로 구현되어야 할 MDDI, MIPI방식의 디스플레이 인터페이스를 지원하는 모듈보드 추가 구현과, 현재 스탠드 얼론 방식으로 테스트하지만 향후 수십 대의 시스템을 묶어 상호 통신하며 테스트 할 수 있다면 모듈 테스트를 위해 소모하는 인력의 절감으로 인하여 생산성 향상을 가져 올수 있을 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

[1] 과학기술부, "TFT LCD test system에 관한 연구", 2000년.  
 [2] 문승진, "고성능 모바일 TFT LCD/OLED 모듈을 위한 핸드헬드 검사 장비 설계 및 구현," 한국통신학회논문지, Vol. 34. No. 6, 2009년 6월.  
 [3] 조재수, 멀티미디어 신호처리 이론 및 실습 (이론과 실습), 사이텍미디어, 2006년 3월.  
 [4] 이상수, "기획특집 : E-잉크 전기영동 기반 전자종이 디스플레이," 공업화학전망(KIC News), Vol. 13. No. 3, 2010.  
 [5] <http://en.wikipedia.org/>  
 [6] <http://www.mipi.org/>  
 [7] 남영진, 최재현, 이두광, 김정목, "임베디드 시스템 기반의 휴대형 디스플레이모듈 검사장치 설계 및 구현," 한국정보과학회 유비쿼터스 컴퓨팅과 웹 정보기술 학술심포지움(UCWIT 2009)