

LCOS(Liquid Crystal On Silicon)를 위한 컬러 콘트롤 드라이버 설계

이 범근*, 박남서**, 김재진***

Design of a color control driver for liquid crystal on silicon

Beom-Geun Lee * Nam-Seo Park * Jae-Jin Kim

요 약

본 논문에서는 최근 대두되고 있는 마이크로 디스플레이 디바이스 LCOS(Liquid Crystal On Silicon)에 대하여 간단히 논하며, 출력 해상도가 물리적으로 고정되어 있어 다양한 영상 모드를 변환해주는 스케일 변환기(scale converter)와 그레이 스케일(Gray scale)이 바탕인 LCOS 마이크로 디스플레이 디바이스에서 컬러(color) 구현을 위한 하드웨어 구조와 본 디스플레이 구동 시스템을 구현한 ASIC에 대한 구조에 대하여 논하고자 한다.

Abstract

In this paper, we propose the hardware architecture of a scale converter which is to convert a variety range of scale into a target scale and a time sequential color control driver for LCOS (Liquid Crystal On Silicon) micro display devices which are considered advanced micro display technology in the next generation. The driver has been implemented and tested with ASIC chips.

* 경희대학교 전자공학과
** 청주대학교 전자공학과
*** 극동정보대학 전산정보처리과

I. 서론

기존에 존재하던 대표적인 디스플레이 장치인 CRT (Cathode - ray tube.), TFT LCD (Thin film transistor Liquid crystal digital). 등과 같은 장치들이 대형이며 상당한 부피 및 무게를 차지하므로 쉽게 휴대가 불가능하며 많은 량의 전력 소모가 필요로 한다. 개인이 디스플레이 모니터를 휴대하고자 하는 욕구가 증가하면서 Wearable display device에 대한 필요성이 대두되었고 여러 가지 디스플레이 디바이스를 이용한 HMD (Head Mounted Display)가 개발되었다. 대표적인 디스플레이 디바이스는 투과형 LCD를 이용하여 구현한 것이다. 그러나 이러한 투과형 LCD의 경우 고해상도의 구현에 상당한 어려움이 있다. RGB 각각의 셀(Cell)을 작은 사이즈의 다이(die)에 집적하여야 하므로 XGA이상의 LCD 구현이 상당히 힘들고 LCD의 크기도 커지는 단점이 있다. 또한 생산 프로세서가 복잡하므로 가격이 비싸지게 된다. 이와 같은 단점들을 해결하고 보다 선명한 새로운 디스플레이 장치들로 대두되고 있는 것이 LCOS이다. LCOS의 경우 reflective 타입으로 기존의 방식과는 완전히 다르며 아주 작은 사이즈의 다이 위에 높은 해상도를 구현 할 수 있고 생산 경우도 기존의 반도체 라인을 이용하여 쉽게 생산 할 수 있다. 화질 또한 투과형보다 보다 선명하고 밝은 화면을 구현 할 수 있다. <그림 1>은 본 개발에서 적용한 MD (Micro Display)사의 MD800G6[1]라는 LCOS와 그 밖의 예이다. 현재 MD, CMD (Colorado Micro Display), Display Tech., Three Five 등과 같은 회사에서 LCOS를 개발 공급하고 있다.

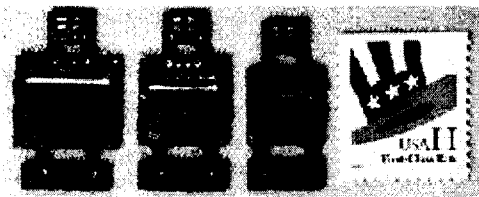


그림 1. LCOS 마이크로 디스플레이 예제
Fig. 1. An example of LCOS micro display

일반적으로 차세대 디스플레이에서도 기존의 디스플레이 처럼 출력 해상도가 물리적으로 고정되어 있으며 이를 구동하는 방식이 복잡하다. 즉 VGA, SVGA 등과 같은 다양한 영상 모드가 입력되지만 출력 해상도는 하나이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 <그림 2>와 같이 영상 모드를 변환해주는 스케일 변환기를 가진 디스플레이 구동기 시스템을 고려해야 한다.

디스플레이의 종류와 패널의 종류가 다양해짐에 따라서 디스플레이 각각을 효율적으로 작동시킬 수 있는 구동 장치의 설계와 입력되는 다양한 해상도를 특정 해상도에 맞추어야 위한 스케일 변환 기술이 필수 불가결하게 되었다. 따라서 다양한 차세대 디스플레이의 구동장치를 설계 할 경우에는 스케일 변환 기술을 고려한 설계를 반드시 하여야 한다.

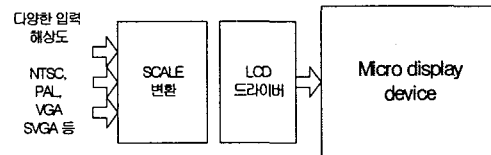


그림 2. 스케일 변환과 구동 시스템을 가진 마이크로 디스플레이
Fig. 2. Micro display with scale converter and color control driver

II. LCOS Technology

2.1 LCOS의 동작 방식

LCOS는 <그림 3>과 같이 기본적으로 격자로 나누어진 실리콘 위에 액정(Liquid Crystal)을 배치하고 여기에 전위차를 부여하여 액정의 동작에 의하여 생기는 반사도 차이에 의하여 동작하게 된다[2]. 이론적으로는 아래 <그림 3>에서 보는 바와 같이 매우 간단한 구조로 이루어져 있다. 이러한 방식으로 구성되므로 구조가 간단하며 XGA 이상의 고해상도를 0.6인치 정도의 사이즈로 쉽게 만들 수 있다. 하지만 이러한 이유로 인하여 LCOS는 기본적으로는 그레이 스케일이며 따라서 컬러를 구현하기 위하여 상당히 복잡한 전처리 과정이 필요하다.

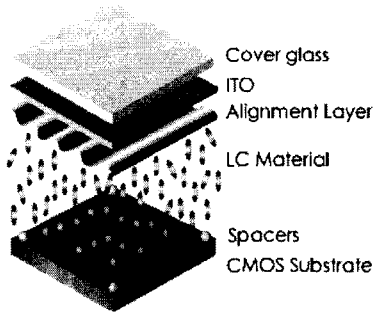


그림 3. LCOS 구조
Fig. 3. LCOS structure

2.2 LCOS상에서 컬러 구현

LCOS의 경우 기존 TFT LCD와는 컬러를 구현하는 방식이 완전히 다르다. RGB가 동시에 발광하는 것이 아니며 순차적으로 발광하여 컬러를 이루게 된다. 이러한 방식은 LCOS가 그레이 스케일이므로 필요한 과정이다. 이러한 방식으로 인하여 컬러를 구현하기는 어렵지만 1 픽셀에서 RGB가 발광하므로 더욱 선명한 화면이 구현 가능하다는 장점을 가지게 한다. 아래 <그림 4>는 TFT LCD와 LCOS의 1 프레임 동안의 RGB 데이터의 로드 및 발광을 설명하기 위한 그림이다.

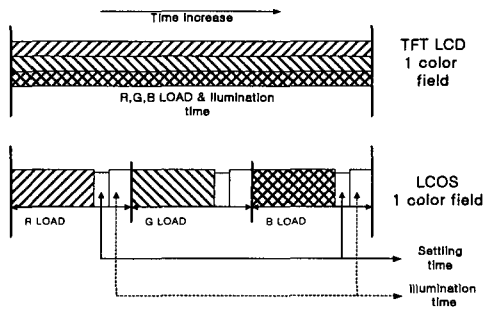


그림 4. TFT LCD 및 LCOS의 한 프레임 타이밍도
Fig. 4. Timing diagrams of TFT-LCD and LCOS

<그림 4>에서 보는 바와 같이 LCOS에서는 로드 시간(load time)과 발광 시간(Illumination time)이 따로 구분되어 있고 여기에 또한 액정의 물성에 따른 세팅 시간(settling time - reflective 안정화 시간)이 추가적으로 필요하므로 실질적으로 발광되어 사람의 눈에 보이는 시간은 상당히 짧다. 따라서 상당히 강한 발광체(HMD의 경우 고회도 TRI LED, RPM의 경우 Color Wheel)를 사

용해야 하는 단점과 RGB가 순차적으로 발광하므로 발생 하는 color break-up을 해결하기 위하여 RPM과 같은 응용에서는 수직주파수(Vertical Frequency)를 100 Hz 이상으로 높여 주어야 하는 단점을 가진다[3].

2.3 LCOS의 응용

LCOS의 경우 짧은 시간 동안에 RGB 각각의 프레임 을 로드해야 하므로 보통의 경우 4 pixel 정도를 1 clock 에 burst로 로드하도록 구성되어 있다.

LCOS는 기본적으로 마이크로 디스플레이 디바이스이므로 HMD에 가장 적합하다고 할 수 있다[2]. 또한 선명한 화질과 우수한 컬러 구현능력이 있으므로 RPM (Rear Projection Monitor), 빔 프로젝터 등의 응용에 사용하려고 하는 수 많은 노력들이 진행 중이다.

또한 현재 LCOS를 이용하여 RPM방식으로 HDTV에 적용하고자 하는 노력이 몇몇 업체에서 이루어져 결실을 맺고 있다[4].

III. 스케일 변환기

일반적으로 차세대 디스플레이에서도 기존의 디스플레이 처럼 출력 해상도가 물리적으로 고정되어 있으며 이를 구동하는 방식이 복잡하다. 즉 VGA, SVGA 등과 같은 다양한 영상 모드가 입력되지만 출력 해상도는 하나이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 영상 모드를 변환해주는 스케일 변환기가 필요하다.

스케일을 변환에 의해 나타나는 경계선 부근에서 계단형 충이 생기거나 윤곽선 부근의 선명도가 떨어지는 현상은 스케일이 다른 두 개의 비디오 신호를 하나의 스케일로 바꿀 때 흔히 발생하는 문제중 하나이다. 하지만 마이크로 디바이스에서 이러한 문제점은 큰 부담으로 존재하며, 고속으로 동작하여야 한다는 문제점을 야기한다[5].

이러한 문제점들은 바이시그모이드(bisigmoid) 함수를 사용하여 상수 a 값에 따른 적응 보간을 사용하여 수행함으로써 윤곽선 부분의 보간을 크게 개선함과 동시에 고속으로 동작을 할 수 있다.

이에 사용된 시그모이드(sigmoid) 함수와 바이시그모이드 함수는 식(1)과 식(2)에서 각각 나타내었다.

$$s(x, a) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-0.5)}} \dots\dots\dots (1)$$

$$fc(x, y) = (1-s(\Delta x, ax))(1-s(\Delta y, ay))f(n1, n2) \\ + (1-s(\Delta x, ax))s(\Delta y, ay)f(n1, n2+1) \\ + s(\Delta x, ax)(1-s(\Delta y, ay))f(n1+1, n2) \\ + s(\Delta x, ax)s(\Delta y, ay)f(n1+1, n2+1) \\ \dots\dots\dots (2)$$

여기서 ax와 ay는 x축과 y축 상의 시그모이드 함수의 입력 변수를 나타내며, 적응 보간을 위해 데이터 값에 따라 각각 다른 값을 가진다. 이러한 바이시그모이드 함수를 이용한 보간법은 <그림 5>와 같다.

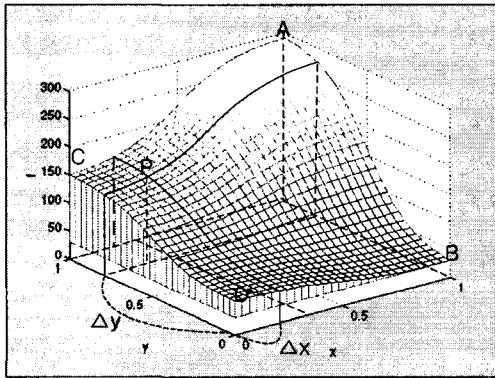


그림 5. bisigmoid 함수를 이용한 보간법
Fig. 5. Result of bisigmoid interpolation

비디오 포맷을 변환시킬 때 픽셀과 라인은 일정 비율로 겹치게 된다. 이때 점 P는 변환시키고자 하는 목표 비디오 포맷상의 보간이 수행되어야 할 점이다. 이러한 점 P를 둘러싼 4점 A, B, C, D의 데이터와 보간이 수행되어질 위치 데이터인 Δx , Δy 의 값을 통해 바이시그모이드 적응 보간이 수행된다. 적응 보간의 수행은 <그림 6>과 같다.

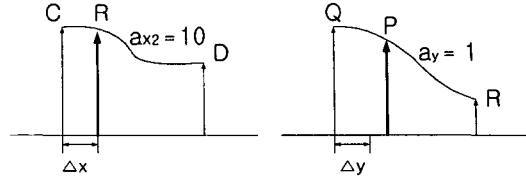
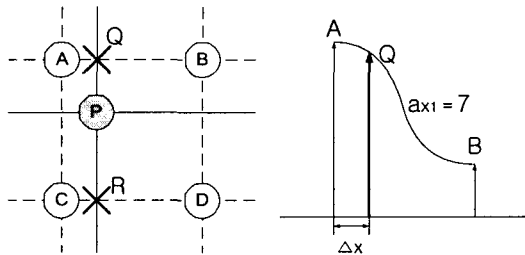


그림 6. a 값에 따른 바이시그모이드 적응 보간
Fig. 6. adaptive bisigmoid interpolation for a value

먼저 점A와 B, 점 C와 D의 보간이 각각 수행되고, 보간의 수행결과인 점 Q와 R에 의해 보간 하고자 하는 점 P의 값을 구할 수 있다. 이때 각 보간 수행 과정에서 주어지는 a 값은 P점을 구하는 세 번의 보간 과정동안 피보간 점의 값에 따라 각각 다른 값이 주어지게 된다. 즉, <그림 6>에 나타낸 바와 같이 a값에 의한 적응 보간은 세 가지 경우로 크게 나눌 수 있다. 첫째는 피보간점(A, B)의 값의 차가 클 경우이다. 이때 a 값은 윤곽선의 명확성을 위해 비교적 큰 값을 사용한다.

그러나 a 값이 너무 클 경우는 계단형의 일그러짐이 발생하게 된다. 둘째로 피보간점(C, D)의 값의 차가 비교적 작을 경우이다. 이 경우는 희미하게 나타날 윤곽선을 보강하기 위해 첫 번째와 마찬가지로 큰 a 값이 주어진다. a가 작게 되면 윤곽선은 희미해지거나 육안 구분이 어렵게 된다. 셋째는 두 가지 경우의 중간이라 할 수 있는 경우로 이 경우는 a 값의 특성상 선형 특성을 가지는 아주 작은 값을 주어 선형 보간이 이루어지도록 한다.

본 스케일 변환기는 피보간점 값의 차이에 따라 6가지 경우로 나누고 그에 해당하는 서로 다른 a 값이 적응적으로 적용되는 바이시그모이드 보간법을 수행하도록 하였다.

IV. LCOS 드라이버 설계

본 LCOS 드라이버는 크게 영상 모드를 변환해주는 스케일 변환기부분과 프레임 메모리를 위한 2개의 SRAM과 이를 컨트롤하는 메모리 컨트롤 블록으로 나눌 수 있다. <그림 7>은 LCOS 드라이버의 전체 구성도이다.

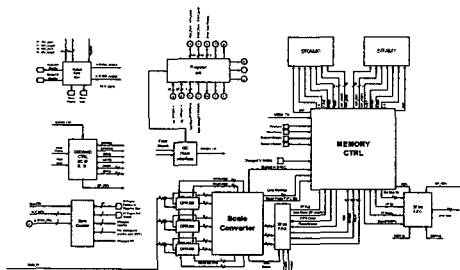


그림 7. LCOS 드라이버의 전체 구성도
Fig. 7. Block diagram of the LCOS driver

4.1 바이시그모이드 보간 연산부

바이시그모이드 적응 보간 연산부는 <그림 8>과 같이 메모리로부터 두 라인의 데이터를 받아 보간을 수행하기 위한 4개의 병렬 데이터로 만들어주는 블록과 적응 보간을 위한 적응 연산 블록, 보간 결과를 참조하기 위한 ROM 테이블로 구성된다.

적응 보간 연산 블록의 ROM 테이블은 시그모이드 함수의 a 가 5일 때 입력되는 R,G,B값에 따른 보간치를 32 단계의 값으로 구성하였고, 바이시그모이드 연산 블록은 a 값이 5에서 다른 값으로 변환에 따른 ROM 테이블 값의 변화를 연산하여 적응 보간에 필요한 변환된 a 값에 해당하는 보간치를 출력하게 한다. a 값은 적응 연산블록으로 입력되는 두 점의 값에 따라 결정되어지며 바이시그모이드 적응 보간을 위해 이 블록은 세 개가 필요하다. 이들 각각의 적응 연산블록은 <그림 9>와 같이 구성되며, 입력되는 두 픽셀 데이터를 비교하여 a 값을 결정하고, ROM 테이블의 어드레스를 만들어 ROM 테이블의 출력 값을 a 값에 해당하는 값으로 연산하여 적응 보간 결과를 출력한다.

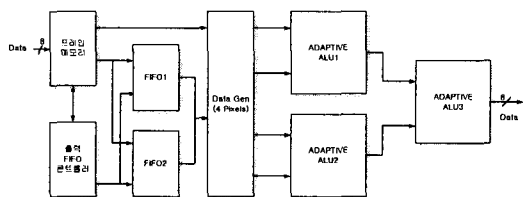


그림 8. 바이시그모이드 적응 보간 연산부의 구성
Fig. 8. Detailed block diagram of adaptive bisigmoid ALU

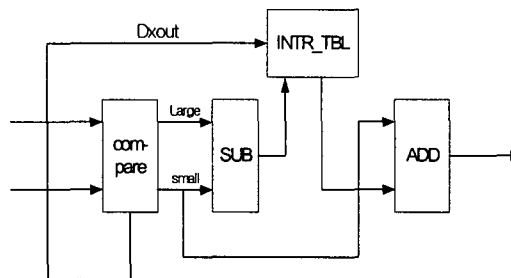


그림 9. 적응 연산 블록
Fig. 9. Block diagram for adaptive interpolation

4.2 컬러 시퀀셜 구현 구조

컬러 시퀀셜(Color sequential)을 구현하기 위해서는 우선 동일시간에 들어오는 RGB 각각을 따로 나누어 저장해야 하는 과정이 필요하다. 이렇게 나누어 저장하지 않을 경우 차후에 컬러 시퀀셜로 출력 할 시에 읽어 오는 address를 순차적($n, n+1, n+2...$)으로 증가시키지 않으므로 프레임 메모리(Frame Memory)가 DRAM 일 경우 행과 열을 바꾸어 주기 위한 추가적인 명령어가 자주 필요하다. 따라서 타이밍 부족을 야기할 수 있거나 혹은 부족한 타이밍을 없애기 위하여 프레임 메모리로 SRAM을 사용하여 구현하였으므로 따로 나누어 저장하는 구조가 필요하다.

입력된 1 LINE의 데이터들을 라인 메모리(line memory)에 저장한 후 이를 다시 4 픽셀(pixel) 단위로 구성하여 다음 라인 데이터(line data)가 다른 라인 메모리에 저장되는 동안 SRAM 컬러 별로 따로 저장되는 구조이다. 상세한 구성은 그림10, 11, 12에 표현되어 있다.

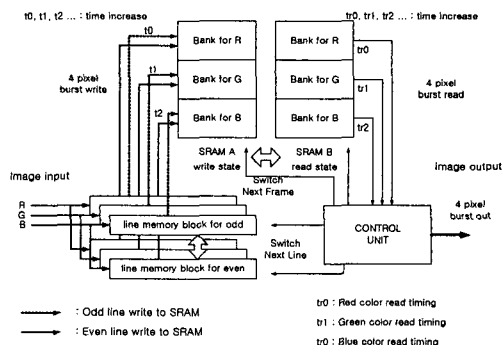


그림 10. 컬러 시퀀셜 블록의 구성도
Fig. 10. Diagram of color sequential block

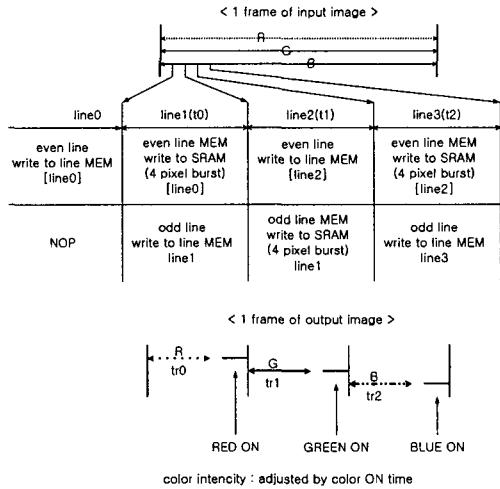


그림 11. 라인 메모리 블록의 타이밍 다이어그램과 데이터 출력 절차

Fig. 11. Timing diagram of line memory block & data output procedure. 그림 11은 block diagram of data format reconstruction for burst read & write이다.

〈그림 12〉에서 보는 바와 같이 매번 입력 이미지 라인마다 번갈아 가면서 쓰고 읽으므로 컬러를 분리하여 메모리에 저장하여 컬러 시퀀스를 구현하게 된다. 최종적인 출력의 각 컬러의 On time(illumination time)을 조정하므로써 쉽게 각 컬러의 밝기(color intensity)를 제어할 수 있다.

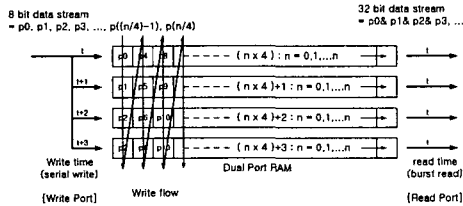


그림 12. 각 라인 메모리 블록의 구성 및 W/R 타이밍
Fig. 12. Line memory block diagram and W/R timing

V. 구현된 ASIC 및 시스템

구현된 시스템은 0.49 inch MD(Micro Display)의 MD800G6 LCOS를 드라이빙(driving) 할 수 있도록 설계되었다.

MD800G6의 경우 아날로그(analog) 방식의 패널(panel)이므로 내부에 4 개의 DAC을 내장하였으며 기타 부가적인 콘트롤 신호들을 만들어 내는 로직(logic)들이 추가되었다.

〈그림 13〉은 구현된 ASIC과 시스템의 사진이다.

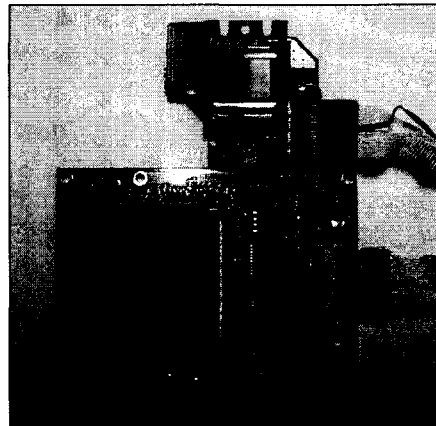


그림 13. 구현된 ASIC
Fig. 13. System with the ASIC chip

VI. 결론

지금까지 LCOS에서 다양한 영상 모드를 변환해주는 스케일 변환기 및 컬러를 구현하기 위한 컬러 시퀀스의 구조에 대하여 논하였으며 이를 위하여 설계된 구조에 대하여 기술하였다. 바이시그모이드 보간법을 통하여 다양한 입력을 받아들임과 동시에 윤곽선 부분의 보간을 크게 개선하였으며, 또한 상기에서 제안한 설계한 구조에 의하여 SRAM상에서 쉽게 고속으로 동작할 수 있도록 컬러 시퀀스를 구현하였다.

현재 LCOS의 경우 컬러 구현의 난이도와 제어의 난이도, 또한 color break-up, 나쁜 광효율(짧은 illumination time)등의 과 같은 문제들을 가지고 있다. 하지만 저가격 고화질이므로 훌륭한 미래의 display

device의 대안이 될 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 문제들을 해결하기 위한 여러 가지 연구가 계속되어 지고 있으며 현재 여러 가지 성과들이 가시화되고 있다. 이러한 난제들이 제거된다면 HMD, RPM과 같은 응용에서 훌륭한 성능을 발휘할 것이며 TFT LCD, PDP(Plasma Display Panel)과 함께 차후 가장 각광 받는 디스플레이 디바이스로 대두 될 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] The Micro Display Corporation, MD800G6 Micro display specification, 1999
- [2] J. Ammer, M. Bolotski, P. Alvelda, T. F. Knight Jr. A 160x120 pixel Liquid Crystal on Silicon Microdisplay with on Adiabatic DACM., IEEE International Solid-State Circuits Conference, 1999
- [3] Steve Ditlea, The PC goes ready to wear, IEEE Spectrum, October. 2000
- [4] Micro Display Report , January. 2001
- [5] C.G. Oh, J.G. Kim, C.W. Hong, S.P. Hong, Y.M. Chung, "A real time digital convergence system using interpolation," IEEE Transaction on Consumer Electronics, vol. 42, No. 3, pp. 689-695, August 1996.

저자 소개

이 범 근

1995. 2. 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사),
 1997. 2. 청주대학교 전자공학과 졸업(공학석사),
 2001. 8. 경희대학교 전자공학과 박사수료
 2002. 3 ~ 현재
 극동정보대학 전산정보처리과 초빙전임강사
 <관심분야> Micro Display
 HDTV, CAD, Internet
 Applications



박 남 서

1998. 충주대학교 컴퓨터공학과 학부졸업
 2000. 청주대학교 전자공학과 석사 졸업
 현. 청주대학교 전자공학과 박사과정
 <관심분야> 컴퓨터 알고리즘, 컴퓨터 보안



김재진(金才鎭)

1995. 청주대학교 전자공학과 석사 졸업
 2003. 청주대학교 전자공학과 박사 졸업
 현. 극동정보대학 전산정보처리과 조교수
 <관심분야> 컴퓨터 알고리즘, 컴퓨터 보안

