

고성능 DSP를 이용한 영상기울기 검출 시스템 구현에 관한 연구

Implementaion of Image Gradient Detection System with High-Performance DSP

이승준(Seung Joon Lee)¹⁾ 이상범(Sang-Burm Rhee)²⁾

요 약

본 논문은 NTSC 카메라로 부터 획득한 컬러 이미지를 흑백 이미지로 변환 하여 영상 경계선 검출 후 Hough 변환을 통하여 영상 기울기를 검출하는 시스템을 고성능 DSP를 이용하여 구현 하였다. 검출된 영상 기울기는 서보모터를 제어하여 카메라 지지대를 기울여도 카메라를 반대로 기울여 항상 기울어지지 않는 영상이 얻어지는 시스템을 구현 하였다.

ABSTRACT

This paper implement image gradient detection algorithm with high-performance DSP. First the NTSC color image convert to B/W image. The image gradient detect with Hough transform after edge detection image from the B/W images. The value of image gradient detection control the servo motor to original position of the NTSC camera if camera base to the left or right tilt.

논문 접수 : 2008. 8. 1.

심사 완료 : 2008. 8. 12.

1) 단국대학교 박사과정 수료

2) 단국대학교 전자컴퓨터공학과 교수

1. 서론

카메라로부터 획득한 영상에서 기울어지지 않은 올바른 영상을 얻기 위해서는 특정 물체를 인식 후 그물체의 기울어짐을 검출하여 기울기를 보정함으로써 얻을 수 있다. 얼굴 등 특정 물체를 인식하여 그 물체의 기울기를 검출하기 위하여 TS (Triangle-Square) 변환을 사용 한다.[1] TS 변환은 특정 점의 벡터연산과 스칼라 곱을 이용한 기하학적 연산만을 수행 하므로 계산속도가 빠르다.

그러나 여러 환경에서 획득한 영상의 경우 특정 물체가 주위에 항상 존재하지 않기 때문에 이를 이용하기는 어렵다. 반면 실내 영상에는 벽의 경계선, 문 등 많은 수직 경계선이 존재한다. 카메라를 통하여 얻은 실내영상의 직선성분은 영상을 미분하여 경계선 검출 후 일반적으로 직선의 기울기 검출에 많이 사용되는 허프(Hough) 변환을 이용하면 직선의 기울기를 얻을 수 있다. 얻어진 기울기는 영상의 기울어짐을 보정하여 수정할 수 있고, 로봇의 자세제어 등 여러 방법에 이용할 수 있다.

허프 변환은 자동차 번호판 인식 등의 정지영상에 많이 사용되지만 연산량이 많아 일반적으로 동영상 등에 사용되지는 어려운 실정이다. 특히 이동용 로봇 등에 주로 사용되는 임베디드 시스템의 경우 일반적인 PC보다 처리능력이 낮아 더욱이 적용이 어렵다.

본 논문에서는 고성능 DSP에 경계선 검출에 용이하도록 비교적 해상도가 높은 NTSC 카메라로부터 얻은 영상에 허프 변환을 통하여 카메라의 기울어짐을 연속적으로 검출하여 카메라에 연동된 서보모터를 제어하여 카메라 지지대를 기울여도 항상 기울어지지 않은 영상을 획득하는 시스템을 구현 하였다.

NTSC 카메라로부터 입력된 아날로그 영상은 비디오 디코더가 사용된 영상 인터페이스 보드를 이용하여 640X480 크기의 NTSC 칼라 영상의 크기를 320X240 크기의 YUYV형식으로 변환하여 영상인터페이스 보드 메모리에 저장 된다.[3] 영상디지털 신호처리에는 TI(Texas Instrument)

의 TMS320C6713 부동소수점 DSP프로세서를 사용한 PM6713 보드를 사용하였다. 모터 제어용 인터페이스 보드는 직접 하드웨어를 제작하여 각도 제어가 가능한 서보모터를 이용하여 카메라의 기울어진 각도를 보정하여 항상 수직으로 획득된 영상만 얻어지도록 모터를 제어 하였다.

2. 허프 변환을 이용한 기울기 검출 방법

2.1 허프 변환

허프 변환은 2차원 영상좌표에서의 직선의 방정식을 파라미터(Parameter)공간으로 변환하여 직선을 찾는 알고리즘이다. 일반적으로 2차원 공간에서의 직선 방정식은 다음과 같이 작성할 수 있다.

$$y = ax + b \quad (2-1)$$

위식에서 a 는 기울기(slope), b 는 y 절편(intersection)이 된다. 위의 직선의 방정식은 가로축이 x 이고, 세로축이 y 인 2차원 xy 좌표 공간에서 정의 되어 있으며, 이때 a 와 b 가 직선의 모양을 결정하는 파라미터가 된다. 이 방정식을 가로축이 a 이고, 세로축이 b 인 공간 ab 좌표 공간으로 변환하면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$b = -xa + y \quad (2-2)$$

위와 같이 2차원 xy 공간에서의 직선의 방정식을 ab 공간으로 변환하면 2차원 xy 공간에서의 직선은 ab 공간에서는 한 점으로 나타나고, 반대로 xy 공간에서의 한 점은 ab 공간에서 직선의 형태로 나타난다. 허프 변환은 이러한 특징을 이용하여 xy 공간에서의 직선을 찾는다.

그림 2.1은 이러한 좌표공간 변화 시 나타나는 현상을 보여준다. 왼쪽 xy 공간에서의 직선 방정식은 임의의 두 점 (x_i, y_i) 와 (x_j, y_j) 를 지나고 있다. 이 직선은 점 (x_i, y_i) 를 지나가기 때문에, $y_i = ax_i + b$ 의식을 만족하며, 이를 ab 공간으로 변경하면 $b = x_i a + y_i$ 로 표현 할 수 있다. 여기서

x_i 와 y_i 는 상수 값을 가지므로 ab 공간에서 정의된 $b = -x_i a + y_i$ 는 직선의 방정식이 된다. 마찬가지로 점 (x_j, y_j) 는 오른쪽 그림에서 $b = -x_j a + y_j$ 형태의 방정식을 결정짓는다. 이 두 직선이 교차하는 점의 좌표는 (a', b') 가 되며, 이는 xy 공간에서 직선의 방정식 $y = a'x + b'$ 를 정의해주는 두 개의 파라미터 값이다.

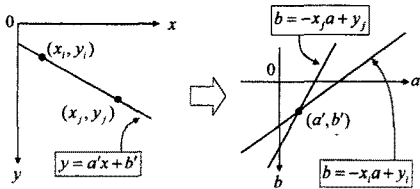


그림2.1 2차원 영상공간에서 파라미터 공간으로 변환

2-2 파라미터 공간의 극좌표형태로 변환

한 가지 문제점은 위에서 사용하는 직선의 방정식 $y = ax + b$ 는 y 축과 평행한 직선을 표현하지 못한다는 점이다. 왜냐하면 수직선의 경우 기울기 a 의 값이 무한대 값을 가지기 때문이다. 그러므로 실제 허프 변환을 구현할 때에는 식2-3과 같이 극좌표계 형태의 직선의 방정식을 사용한다.

$$x \sin \theta + y \cos \theta = \rho \quad (2-3)$$

위 수식에 해당하는 직선의 모양은 그림 2.2와 같다. 위 수식에서 ρ 는 원점(0, 0)에서 직선까지의 수직 거리를 의미하고 θ 는 원점에서 직선에 수직선을 그렸을 때 y 축과 이루는 각도를 의미한다.

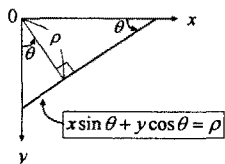


그림2.2 $\rho\theta$ 파라미터를 이용한 직선의 표현
이처럼 직선을 $\rho\theta$ 파라미터 공간에서 표현할 경

우 ρ 와 θ 가 가질 수 있는 값의 범위는 식 2-4와 같다.

$$-\sqrt{M^2 + N^2} \leq \rho \leq \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2-4)$$

$$0 \leq \theta < \pi$$

위 수식에서 M 과 N 은 영상의 가로와 세로 픽셀의 크기를 의미한다.

허프 변환을 구현할 때에는 이처럼 $\rho\theta$ 파라미터 공간을 사용한 후 축적배열을 사용한다. 그림 2.3은 $\rho\theta$ 파라미터 공간에서 축적배열의 구성을 보여준다. 여기서 ρ 와 θ 값은 실수 값을 가지기 때문에 실제 구현 시는 정수형을 갖도록 양자화하여 축적배열의 크기와 계산량을 줄인다.

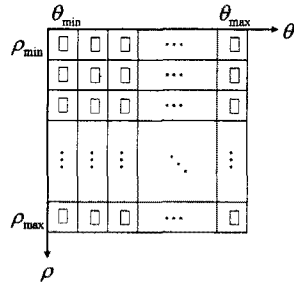


그림2.3 $\rho\theta$ 파라미터 공간에서 축적 배열의 구성

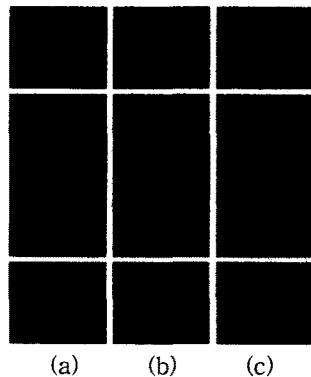


그림2.4 점으로 구성된 영상의 허프변환 결과

간단한 점 몇 개를 포함한 영상에 대한 허프 변환 과정을 나타내면 그림 2.4와 같이 표현된다. 각각의 그림에서 맨 위의 그림은 입력 영상을 나타내고 중앙의 영상은 축적배열을 영상으로 표현한 것이며, 아래는 허프 변환을 이용한 직선을 찾은 결과를 보여준다.

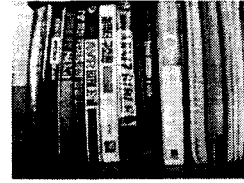


그림 3.3 Y성분을 추출하여 얻은 흑백 영상

3. 실험용 DSP 보드의 구성

3-1 영상 입력보드 구조

NTSC 카메라로부터 입력된 아날로그 영상은 SAA7113 비디오 디코더가 사용된 영상 인터페이스 보드를 이용하여 640X480 크기의 NTSC 칼라 영상의 크기를 320X240 크기의 YUYV형식으로 변환하여 영상인터페이스 보드 메모리에 그림 3.1과 같은 YUYV형식으로 저장된다.

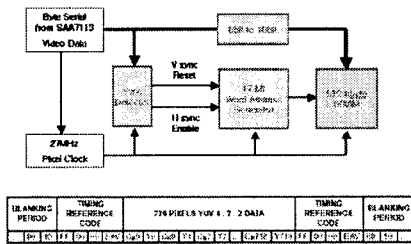


그림3.1 NTSC 영상입력보드 구조

YUYV 모델의 칼라영상은 pixel당 16-bit의 데이터로 휘도성분인 Y성분 8-bit(High Byte)와 색차성분 U, Y가 각각 8-bit(Low Byte)로 그림3.2와 같은 구성을 이루고 있다. 이중 휘도성분인 Y성분만을 추출하면 흑백영상을 얻을 수 있다. Y성분을 추출하기 위한 방법으로 16-bit YUYV 신호 성분중 상위 8-bit만을 취함으로 얻을 수 있다.

Screen Buffer Word Address	High Byte	Low Byte
0	Y0	U0
1	Y1	V0
2	Y2	U2
3	Y3	V2
4	Y4	U4
5	Y5	V4
...

그림3.2 칼라영상의 YUYV 표현

3-2 실험용 DSP 보드의 구성

본 실험에는 floating point 연산이 가능한 고성능 DSP 프로세서 TMS320C6713이 탑재된 PM6713 보드를 사용하였다. 실험에는 삼각함수의 룩업 테이블, 추출 영상 저장 및 축적배열의 저장을 위한 2M-Byte 이상의 RAM과 64K-byte 이상의 flash-memory 공간이 필요한데 PM6713 보드는 실험에 충분한 Memory 용량을 제공한다. 또한 PM6713 보드는 BIOS 혹은 OS등이 탑재되어 있지 않아 프로그램이 가벼워 본 실험과 같이 영상처리를 위한 산술량이 많은 실험에 적합한 보드인 반면 보드 초기화 프로그램, 카메라에서 영상을 추출하기 위한 프로그램 및 결과를 출력 하기위한 프로그램을 구성하여야 하는 번거로움이 있다. 보드의 초기화 값은 산술량이 많음을 감안하여 DSP는 최고의 Clock 속도로 동작하도록 설정 하였다. 그 외 초기값은 ND-Tech에서 DSP와 함께 제공하는 프로그램의 변수를 본 실험에 적합하도록 표3.1과 같이 최적화 하여 사용하였다.

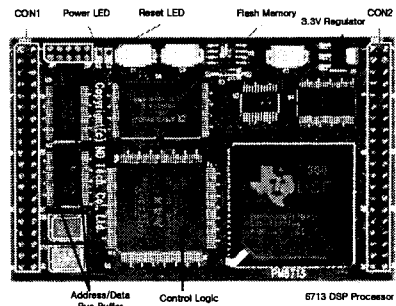


그림3.4 PM6713 DSP 모듈

표 3.1 PM6713 DSP 보드 초기화 설정값

항 목		설정값
PLL SET	CPU Core Clock	300MHz
	Peripheral Clock	150MHz
	SDRAM Clock	75MHz
Camera	Size	320×240
	Rate	30frame/sec
Serial Port	RS232	115,200bps

영상 입력 / TFT LCD Board

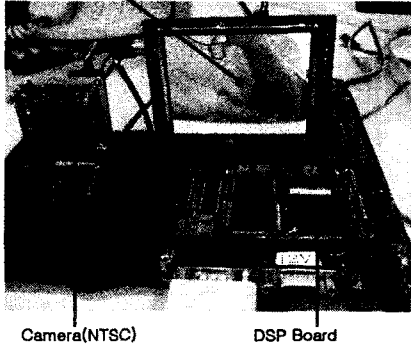
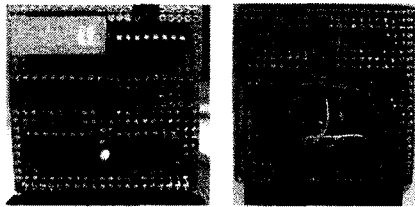


그림3.5 실험에 사용된 DSP 보드와 카메라

3-3 서보모터 제어용 인터페이스 모듈 제작
카메라 회전용 서보모터 제어용 인터페이스 모듈은 그림3.3의 보드를 직접 제작하여 실험에 사용 하였다.



(a) 앞면 (b) 뒷면

그림3.6 제작한 모터제어용 인터페이스 보드

서보모터는 PWM으로 각도를 제어하는 모터로 펄스폭이 1.5msec 일때 90°의 각도를 유지하며 1msec~2msec 까지 펄스폭이 변화 할 때 각도는 0°~180° 변화한다.

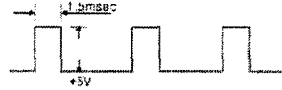
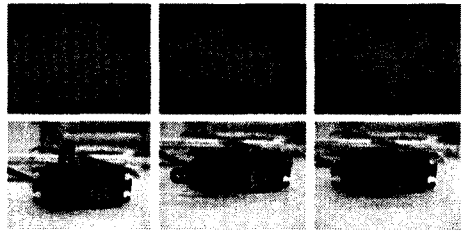


그림3.7 서보모터 제어용 펄스

그림3.7은 TMS320C6713 DSP의 타이머 인터럽트를 이용하여 서보모터 제어용 PWM파형을 측정한 결과이며, 각각의 펄스폭에 따른 모터의 회전 위치를 보여주고 있다.



1.5msec(90°) 1.0msec(0°) 2.0msec(180°)

그림3.8 펄스폭 변화에 따른 서보모터의 위치

카메라 영상으로부터 초점 정보를 획득하여 렌즈를 구동하는 알고리즘은 다음 그림과 같다.

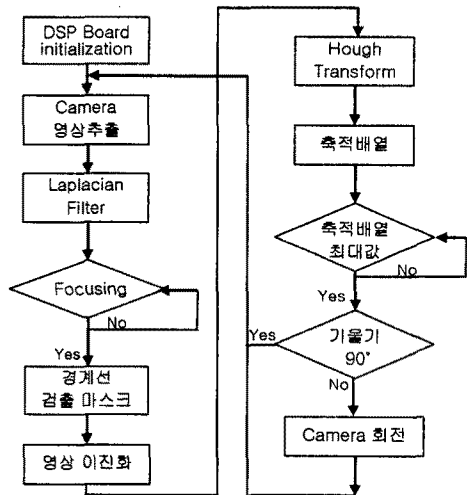


그림3.9 영상을 통한 기울기 검출 알고리즘

4. 기울기 검출용 알고리즘 구현

4-1 경계선 검출 마스크

흑백 영상의 경계선 검출을 위한 두변 함수 $f(x,y)$ 의 Laplacian은 다음과 같이 정의된다.

$$\nabla^2 f = \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta y^2} \quad (4.1)$$

이를 이산신호 함수에 적용하기 위해

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y) \quad (4.2)$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta y^2} = f(x,y+1) + f(x,y-1) - 2f(x,y) \quad (4.3)$$

을 사용하면 그림4.1의 마스크를 Laplacian 오퍼레이터는 다음과 같이 표현 된다.

$$\nabla^2 f = [f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y)] \quad (4.4)$$

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

그림4.1 Laplacian Filter 마스크

외곽 경계선 검출에 사용되는 일반적인 마스크로는 로버츠(Roberts) 마스크, 프리위트(Prewitt) 마스크, 소벨(Sobel) 마스크가 대표적이다.

0	0	-1	-1	0	1	-1	0	1
0	1	0	-1	0	1	-2	0	2
0	0	0	-1	0	1	-1	0	1
-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-1
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	2	1
(a)	(b)	(c)						

그림4.2 경계선 검출 마스크

영상입력보드로부터 획득한 흑백영상 그림3.3에 각각 (a)로버츠(Roberts) 마스크, (b)프리위트(Prewitt) 마스크, (c)소벨(Sobel) 마스크를 적용하면 그림4.3와 같은 경선 검출 영상을 각각 얻을 수 있다.

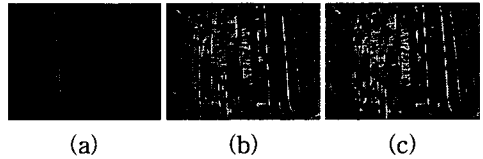


그림4.3 각각의 마스크를 적용하여 얻은 영상

4-2 허프 변환을 이용한 기울기 검출

허프 변환은 경계선 검출 영상의 극좌표형태로 변환 및 축적배열 생성을 필요로 한다. 이진화로 획득한 영상의 직선성분의 직선 방정식 $y = ax + b$ 을 y 축과 평행한 직선을 표현하기 위해 극좌표계 형태의 직선의 방정식으로 변환 하는 식은 식3-1과 같다.

$$x \sin \theta + y \cos \theta = \rho \quad (4-5)$$

위 수식 $\rho\theta$ 파라미터 공간에서 ρ 가 가질 수 있는 값의 범위는 식3-2와 같다.

$$0 \leq \rho \leq \sqrt{V^2 + H^2} \quad (4-6)$$

위식에서 V와 H는 각각 영상의 수평과 수직 픽셀의 크기로, 실험에 사용한 영상의 크기는 320×240으로 ρ 의 크기는 $400 = (\sqrt{320^2 + 240^2})$ 이다. θ 의 범위는 $0 \leq \theta \leq \pi$ 로 최대값을 360으로 하여 0.5°단위로 180°까지 표시되도록 하였다. 그림4.3의 경계선 검출 영상으로부터 허프 변환 후 얻은 축적 배열영상은 각각 그림 4.4와 같이 표시된다. 이중 축적 배열 값 중 가장 큰 값을 찾아 그 값의 θ 를 표시하면 영상의 기울기가 된다.

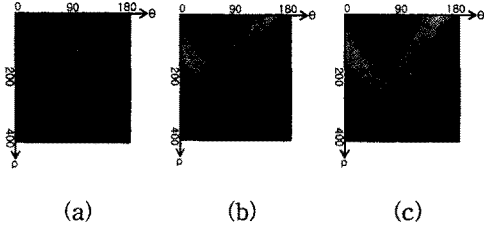


그림 4.4 허프 변환 결과

5. 실험 결과

5-1 영상 기울기 검출 결과

수직 성분과 45° 방향의 소벨(Sobel) 마스크를 적용하여 주변의 여러 영상을 허프 변환하여 얻은 영상 기울기 검출결과이다. 실험에는 일반적으로 실내에서 쉽게 얻을 수 있는 영상에서 직선부분이 포함된 영상을 사용 하였다. 영상에서 직선 부분만 존재한다면 표현할 수 있는 최소 영상 기울기 0.5° 이내의 오차로 기울기가 검출되었다.

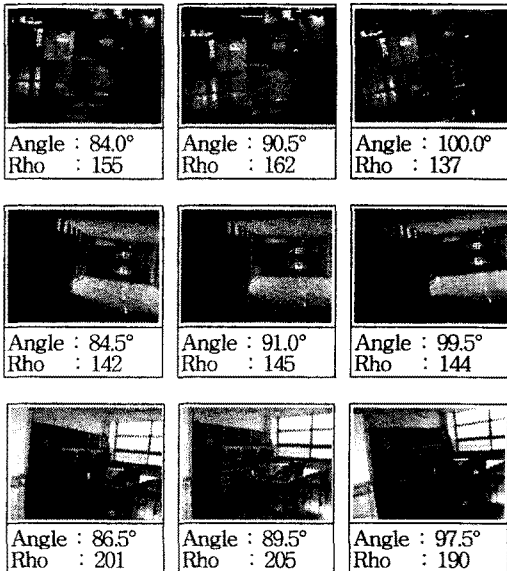


그림 5.2 주변 환경의 기울기 검출 결과

5-2 서보모터 제어 결과

검출된 기울기 값은 식(5-1)의 타이머 인터럽

트의 변수 T_n 이 되어 PWM제어 서보모터를 제어하여 카메라를 영상이 기울어진 방향과 반대 방향으로 회전시켜 그림5.3과 같이 카메라 지지대를 좌·우로 기울여도 카메라는 항상 원상태를 유지하여 기울지 않은 영상이 얻어지는 결과를 얻었다.

$$T_n = T_{(n-1)} - (50 \times (90.0^\circ - \text{검출각})) \quad (5-1)$$

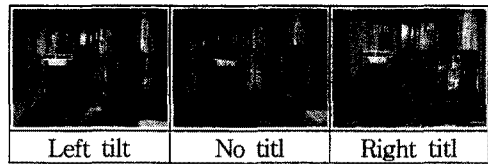


그림 5.3 서보모터제어 결과

6. 결론

본 논문에서는 동영상에서 기울기 값을 검출하기 위하여 허프 변환(Hough Transform)을 이용한 기울기 검출용 알고리즘을 구현하였다. 카메라로부터 입력받은 영상에서 수직선의 각도를 검출하기 위하여 YUYV 기반의 칼라 영상으로부터 휘도 성분만을 추출한 후 소벨(Sobel)마스크를 이용한 경계선 검출 영상에 허프 변환을 하여 직선 부분의 각도를 검출하는 시스템을 구축 하였다. 허프 변환 후 극좌표 형식으로 축적된 배열 값 중 가장 큰 값의 θ 를 찾아 영상의 기울어진 각도를 얻을 수 있었다. 기울어진 각도를 타이머 인터럽트의 시간 변수 값으로 계산하여 PWM 제어의 서보모터를 제어함으로 카메라 지지대를 기울여도 서보모터가 카메라를 회전시켜 항상 기울어지지 않는 영상이 획득 되도록 하였다.

본 논문에서는 비교적 간단한 제어시스템을 적용하여 실험 하였으나 향후 이족 보행로봇 등 복잡한 제어시스템에 적용 가능하도록 연구가 진행된다면 휴머노이드 로봇의 자세제어에도 많은 도움이 될 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] TS(Triangle-Square)변환을 이용한 빠른 일
곱 영역 검출 알고리즘, 박성현, 한태규
- [2] 영상처리를 이용한 캠코더의 자동초점조절
알고리즘 개발 및 하드웨어 구현, 김주현, 최병태
- [3] DSP보드에 영상처리를 이용한 캠코더 자동
초점조절 시스템의 구현, 이승준, 이상범
- [4] TMS320C6000계열 프로세서 활용 DSP실시
간 처리(오영인 김명진)
- [5] 영상처리 이론과 실제 최형일 · 이근수 · 이
양원 공저 홍릉과학출판사 1997
- [6] 먼저 배우는 DSP
- [7] 예제로 배우는 제어용DSP TMS320LF2406A
(송봉길)
- [8] TMS320C5000DSP를 이용한 실시간 디지털
신호처리(정익주)
- [9] C언어에 의한 디지털 신호처리 입문(마키미
나오키)
- [10] 멀티미디어 신호처리 이용혁 · 이종실 · 민홍
기 · 김광수 · 김상현 · 한영환 · 한진수 · 홍인기
공저 ITC 2007
- [11] DISCRETE-Time SIGNAL PROCESSING
Alan V.Oppenheim · Ronald W. Schafer with
John R. Buck Second Edition
- [12] Digital Image Processing Rafael C.
Gonzalez, Richard E. Woods, ARM System
Developer's Guide Sloss Symes Wright
- [13] TMS320C6416/C6713 DSK One-Day
Workshop Student Guide, Texas Instruments
- [14] Code Composer Studio User's Guide
- [15] Image Processing(Classical & Modern
techniques in C) RANDY CRANE
- [16] C언어 길라잡이 김은철, 김명진 정보문
화사
- [17] Digital Signal Processing 동역메카트로닉
스연구소 기술정보팀 2007

이승준



1991.2 : 단국대학교 전자공학과(공학사)
 1997.8 : 단국대학교 산업기술대학원(공학석사)
 2007.8~ 단국대학교 전자공학과 박사수료
 1995.5~ 현재: 인천국제공항공사 관계통신팀 근무
 관심분야 : 컴퓨터 구조, 임베디드 프로세서 응용,
 DSP 통신시스템

이상범



1974 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1978 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1986 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 2000 : 미국 SanJose대학 컴퓨터공학과 객원교수
 2005 : 한국정보처리학회 회장
 1979-현재 : 단국대학교 전자컴퓨터공학과 교수
 1997-현재 : 단국대학교 멀티미디어산업기술연구
 소 소장
 관심분야 : 컴퓨터구조, 패턴인식, 디지털 신호처
 리