

論文97-34S-12-11

Aliasing 감소를 위한 Two-Pass 영상회전변환

(An Anti-Aliasing Two-Pass Image Rotation)

鄭德鎮*, 李澤周*

(Duck Jin Chung and Taek Joo Lee)

요 약

화상의 변환은 컴퓨터 그래픽, 컴퓨터 비전, 로봇 비전 및 화상처리에 광범위하게 사용되고 있다. 화상의 고 정변환에 있어서 가장 중요한 부분은 화상의 회전이다. 어떤 주어진 각도에 따라 화상의 정보를 손실이 적은 방 법으로 고속 회전하는 것이 중요하다. 화상의 회전에 있어서 two-pass 방법은 one pass 방법에 비해서 여러 가지 장점이 있다. 본 논문은 이미 연구된 방법들의 한계를 극복할 수 있는 새로운 two-pass 알고리즘을 제안 한다. 또한 보간 효과에 의한 열화현상을 측정할 수 있는 새로운 3차원 Fourier-theoretical 모델을 제안한 다. 현재의 기법과 새롭게 제안된 two-pass 알고리즘의 간단한 비교내용이 설명되었고, 본 논문에서 제안된 two-pass 알고리즘의 하드웨어 구조도 제시하였다.

Abstract

Image transformation has been widely used in computer graphics, computer vision, robot vision, and image processing. Image rotation is one of important part of image transformation. In image rotation, a two-pass algorithm has many advantages over a one-pass algorithm in high speed computation. This paper presents a new two-pass algorithm that overcomes the limitations of previously reported approaches. We have also developed a novel three-dimensional Fourier-theoretical model including the effect of interpolation. A brief comparison of existent techniques and the two-pass algorithm newly suggested is presented. This paper also presents the hardware structure for the two-pass algorithm suggested.

I. 서 론

영상회전 변환은 컴퓨터 시각과 컴퓨터 그래픽 활용 에 널리 응용되고 있다. 인공위성으로부터 전송된 사 진의 변환으로부터 TV 화상의 변환, PCB inspec- tion분야에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다.

영상을 변환함에 있어 여러 가지 방법이 사용되며, 보편적인 예로서 one-pass, two-pass, three-pass 와 four-pass 알고리즘이 있다^[2]. 이들 중에서도

one-pass와 two-pass 알고리즘이 우리의 주목을 받 고 있다^[3].

x_1 과 y_1 로 지정된 입력영상을 가정하자. 회전 변환 을 사용하여, 입력영상은 x_2 와 y_2 로 지정된 다른 메모리에 저장된 출력영상으로 옮겨진다. 수학적으로 다 음과 같은 형식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)을 다음과 같이 변환시킬 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \tan(\theta) & \frac{1}{\cos(\theta)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials & Devices Engineering, Inha Univ.)

接受日字: 1997年1月9日, 수정완료일: 1997年11月18日

식 (1)과 (2)는 각각 one-pass 알고리즘과 two-pass 알고리즘에 관한 회전식이다.

디지털 영상이 90°의 배수로 회전되지 않는 경우 보간법에 의한 재표본화가 이용되고 있다. 여기에는 nearest-neighbor, bilinear, cubic convolution, cubic spline, sinc 보간법 등이 있다^[2]. 이러한 보간법들은 1×1-8×8 kernel을 사용하고 있으며, 보간법을 선택하는데는 영상의 품질과 계산의 복잡성간의 trade-off 관계가 성립한다.

One-pass 알고리즘은 영상의 선명함과 품질면에서 two-pass 알고리즘에 의한 것보다 우수하다^[3]. 그러나 one-pass 알고리즘은 two-pass 알고리즘보다 많은 계산과정이 필요하다. 예를 들어 n×n kernel의 경우 one-pass 알고리즘은 n×n의 계산이 요구되지만 two-pass 알고리즘은 2n개의 계산과정이 필요하다. 게다가 two-pass 알고리즘의 경우 순차처리를 포함한 병렬처리에 적합하다. Multi-pass 알고리즘에서 영상의 품질을 증대시키기 위해 많은 연구를 해왔으며, three-pass 알고리즘이 제안되고 있다^[4]. 그러나 three-pass 알고리즘의 경우 더 많은 계산과정이 필요하고, 추가적인 보간에 의한 영상의 품질을 감소시킨다. 이로 인하여 one-pass 방법이 사용되면 화상정보의 손실은 적은 반면 저속이고, two-pass 방법은 회전 알고리즘상 병렬처리가 가능하므로 고속으로 처리될 수 있는 장점을 가지고 있다^{[1]-[4]}. 그러나 two-pass 방법은 회전각이 크면(30°-45°) 고주파 영역에서 심각한 저조, 열화가 되는 것으로 알려져 있다^[1].

본 논문의 구성은 2장에서 영상회전 변환과 보간법의 관계를 주파수 특성의 관점에서 살펴보고, 3장에서는 새로운 two-pass 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 새로운 two-pass 알고리즘과 기존의 알고리즘을 이용한 영상회전 변환의 동작 성능을 비교하였으며, 5장에서는 제안된 two-pass 알고리즘을 구현하기 위한 하드웨어 구조를 소개하였다.

II. 주파수 특성

영상회전 변환과 보간법은 주파수 특성의 관점에서 생각해 볼 수 있다. 영상회전변환은 입력영상 $f_1(x_1, y_1)$ 의 푸리에 변환 $F_1(u_1, v_1)$ 과 출력영상 $f_2(x_2, y_2)$ 의 푸리에 변환 $F_2(u_2, v_2)$ 사이에 다음과

같은 간단한 관계가 성립된다^[3].

$$F_2(u_2, v_2) = F_1(u_1, v_1) \quad (3)$$

One-pass 알고리즘의 좌표계는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Two-pass 알고리즘의 경우 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\sin(\theta) \\ 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\cos(\theta)} & 0 \\ \tan(\theta) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

계산의 복잡성과 소요시간을 줄이기 위해 집적회로 구현에서 bilinear 또는 cubic convolutions 과 같은 small kernel interpolation 방법을 사용한다^{[5]-[6]}. 공간영역에서 bilinear interpolation은 다음과 같이 주어지며,

$$\begin{aligned} b(s) &= 1 - |s|, & 0 \leq |s| \leq 1 \\ b(s) &= 0, & 1 \leq |s| \leq \infty \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 b(s)는 bilinear interpolation을 나타내며, s는 공간변수이다. 주파수 영역에서는 다음과 같이 표현된다.

$$B(w) = \left(\frac{-\sin(w/2)}{w/2} \right)^2 \quad (7)$$

공간영역에서 cubic convolution은 다음과 같이 주어지며,

$$\begin{aligned} c(s) &= (a+2)|s|^3 - (a+3)|s|^2 + 1, & 0 \leq |s| \leq 1, \\ c(s) &= a(|s|^3 - 5|s|^2 + 8|s| - 4), & 1 < |s| \leq 2, \\ c(s) &= 0, & 2 \leq |s| \leq \infty \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 c(s)는 cubic convolution, s는 공간변수, a는 상수이다. 주파수 영역에서는 다음과 같다.

$$C(w) = \frac{-24 - 24\cos(w) - 12w\sin(w) + 4a(3 - 3\cos(2w) - 4w\sin(w) - w\sin(2w))}{w^4} \quad (9)$$

보간법에 의한 열화현상을 측정하기 위하여 우리는 새로운 3차원 Fourier-theoretical 모델을 제안하였다. 영상회전 변환은 개념적으로 세 가지 단계로 나뉘어진다. 즉, 보간, 회전, 재표본화 과정이다.

Cubic convolution (a=-0.5)에 의한 간단한 one-pass 영상회전을 소개한다. 그림 1(a)를 참고하여 생각해 보자. 표본화 주파수는 U, V 축에 1로, Nyquist 주파수는 U, V 축에 0.5로 표준화되어 있다.

일반적인 영상은 고주파대역보다 저주파대역에 밀집되어 있으나 열화의 정도를 측정하기 위하여 고주파대역 및 저주파대역 모두 100%로 가정하자. 보간 후 원래 영상은 유한한 주파수대역에 연속적인 영상으로 바뀌게 된다. 그림 1(b)는 cubic convolution에 의한 보간 이후 영상의 주파수 특성을 나타낸다. 그렇지만 그림 1(b)는 편의상 Nyquist 주파수의 2배에 해당되는 부분만 보여준다. 그림 1(c)는 회전변환 이후의 영상 주파수 특성을 나타낸다. 그림 1(d)는 재표본화 이후의 영상 주파수 특성을 보여준다. 그림 1(e)는 열화된 부분이 제거된 영상을 보여준다. 그림 1(e)에 따르면 모서리 부분의 고주파 영상이 완전히 소실되었음을 보여주며 저주파보다 고주파 부분의 열화현상이 심각하다는 것을 쉽게 보여준다. 그림 1(f)는 aliased image에 관한 내용을 나타낸다. 그림 1(f)에 따르면 aliased image에 의한 영향을 쉽게 보여준다. 우리는 회전과 보간에 의한 효과를 그림 1(d)-(f)에서 설명할 수 있다. 그림 1(d)의 영상은 원래 영상 부피의 66% 정도이다. 즉, 34%의 영상이 소실되었다.

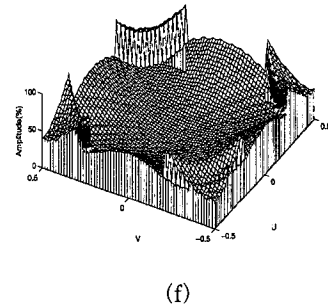
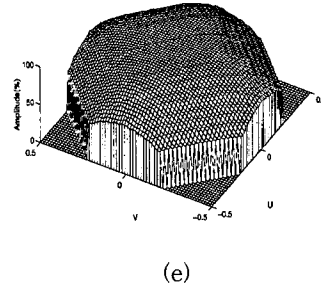
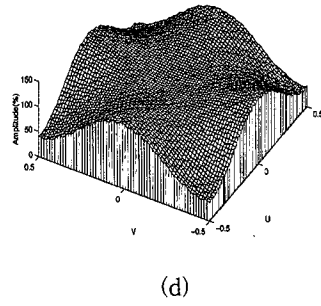
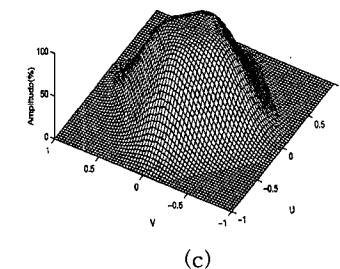
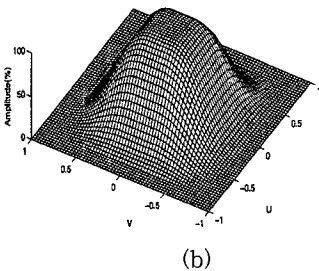
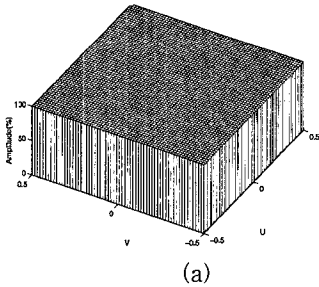
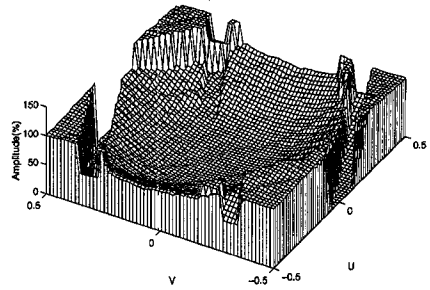


그림 1. 주파수영역에서 초기 영상의 주파수 특성. (a) 초기 영상 ; (b) 보간후의 영상 ; (c) 45° 영상회전변환후 ; (d) 재표본화된 영상 ; (e) aliasing이 제거된 영상 ; (f) aliased 영상.

Fig. 1. Frequency characteristics of the reference image in the Fourier domain. (a) the reference image; (b) the image after interpolation; (c) the image rotated by 45°; (d) resampled image; (e) image without aliasing; (f) its corresponding aliased image.

간단한 비교에 의해 현재 사용되는 방법에 대해 설명해보자. 그림 2(a)는 기존의 two-pass 알고리즘을 이용하여 45° 영상회전변환에 의한 aliasing에 의한 영상이 제거된 영상이며, 그림 2 (b)는 영상회전변환에 관계된 aliased image 이다. 그림 2 (a)는 원래 영상 총부피의 53%를 차지한다. 즉, 47%의 영상이 소실되었다. 그림 2(a)는 그림 1(a)와 비교할 때 고주파 부분의 열화현상이 심각하며 또한 많은 고주파부분

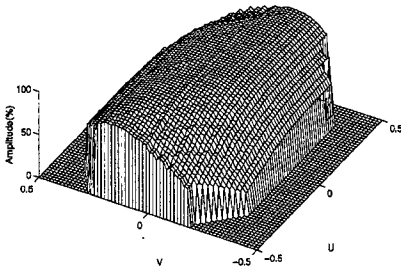
의 영상이 완전히 소실되었음을 보여준다. 그림 3 (a)는 three-pass 알고리즘에 의한 45° 영상회전변환을 했을 때 aliasing에 의한 영상이 제거된 영상이며, 그림 3(b)는 영상회전변환에 관계된 aliased image 이다^[4]. 그림 3(a)는 만족할 만한 형태를 가지며, 원래 영상 총부피의 52%를 차지한다. 즉, 48%의 영상이 소실되었다. 그림 3(a)와 그림 2(a)를 비교하면 총 영상의 열화는 비슷하나 고주파 부분의 완전소실이 적다는 것을 알 수 있다.



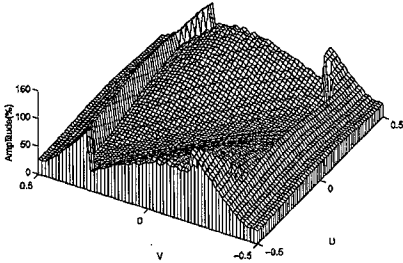
(b)

그림 3. three-pass 알고리즘에 의한 영상회전변환 후의 주파수 영역에서의 주파수 특성 (cubic convolution에 의한 45° 영상회전 변환 (a=-0.5)). (a) aliasing이 제거된 영상 ; (b) aliased 영상

Fig. 3. Frequency characteristics in the Fourier domain after the three-pass.(45° image rotation using cubic convolution (a=-0.5)). (a) image without aliasing; (b) its corresponding aliased image.



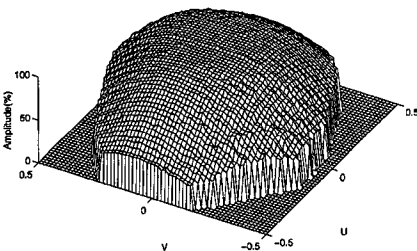
(a)



(b)

그림 2. Cubic convolution을 이용한 two-pass 영상회전변환에 의한 45° 회전변환후 주파수 영역에서의 주파수 특성 (a=-0.5). (a) aliasing이 제거된 영상 ; (b) aliased 영상

Fig. 2. Frequency characteristics in the Fourier domain after the two-pass 45° image rotation using cubic convolution (a=-0.5). (a) image without aliasing; (b) its corresponding aliased image.



(a)

III. 새로운 two-pass 알고리즘

중전의 영상 회전변환의 제한을 극복하기 위해 우리는 새로운 two-pass 알고리즘을 개선시켰다. Two-pass 알고리즘에서 90° 회전을 할 경우 각각의 열은 하나의 점으로 표현된다. 이러한 병목현상을 해결하기 위한 여러 가지 방법이 있다^[2]. 입력영상을 90° 회전을 하기 위해서는, 입력영상의 세로 주사선(scanline)을 출력 메모리에 가로 주사선(scanline)에 순서대로 적는다. 이 원리를 이용하여 45° ≤ θ < 135° 과 225° ≤ θ < 315° 일 경우에는 식(10)과 같이 표현된다. 예를 들어 80° 회전인 경우, 다음과 같이 two-pass 알고리즘에 의한 90° 회전에서 -10° 를 하게된다.

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \tan(\theta_1) & \frac{1}{\cos(\theta_1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 θ₁ = 90° - θ 이다. 식(10)에서 오른쪽 항의 첫 번째 행렬은 일대일 대응이므로 계산이 필요 없다. Two-pass 알고리즘은 다음의 회전각에 따라 간단한 형태로 나타낼 수 있다.

- 1) -45° ≤ θ < 45° 과 135° ≤ θ < 225° 일 때 ;
식 (2)
- 2) 45° ≤ θ < 135° 과 225° ≤ θ < 315° 일 때 ;
식 (10)

회전각이 30° 미만인 경우 회전에 의한 영상의 왜곡현상은 심각하지 않다^[1]. 25° 와 65° 의 회전각인 경우, two-pass 알고리즘에 의해 아래와 같이 수정될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -1 \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{\tan(\theta_1)}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}\cos(\theta_1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2}\cos(\theta_1) & -\sqrt{2}\sin(\theta_1) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서 $\theta_1 = \theta - 45^\circ$ 이다. 식 (10)에서 오른쪽 항의 첫 번째 행렬은 일대일 대응에 의해 계산이 필요 없다. 그러나 일대일 대응에 의한 중간 메모리가 $\sqrt{2}$ 배 증가한다. 만약 회전각이 25° 이상일 경우, 수정된 two-pass 알고리즘에 의한 식(11)은 식(2)에서의 two-pass 알고리즘에 의한 결과보다 좋은 동작특성을 가진다는 것을 그림 6에서 알 수 있다. 다음의 회전각에 따라 two-pass 알고리즘을 간단히 나타낼 수 있다.

- 1) $-25^\circ \leq \theta < 25^\circ$ 과 $155^\circ \leq \theta < 205^\circ$ 일 때 ; 식 (1)
- 2) $25^\circ \leq \theta < 65^\circ$ 과 $205^\circ \leq \theta < 245^\circ$ 일 때 ; 식 (11)
- 3) $65^\circ \leq \theta < 115^\circ$ 과 $245^\circ \leq \theta < 295^\circ$ 일 때 ; 식 (10)
- 4) $115^\circ \leq \theta < 155^\circ$ 과 $295^\circ \leq \theta < 335^\circ$ 일 때 ; 식 (11)과 90° 회전

3차원 Fourier-theoretical 모델을 이용하여 Fourier 영역에서 주파수 특성을 구해보았다.

그림 4(a)는 45° 회전후 aliasing이 제거된 경우를 나타낸다. 그림 4(b)는 회전에 관계된 aliased image이다. 그림 4 (a)는 영상의 완전소실이 그림 1(e)와 거의 같으며, 원래 영상 부피의 64%에 해당한다. 그림 5(a)는 30° 회전후 aliasing이 없는 경우를 나타낸다. 그림 5(b)는 회전에 관계된 aliased image이다.

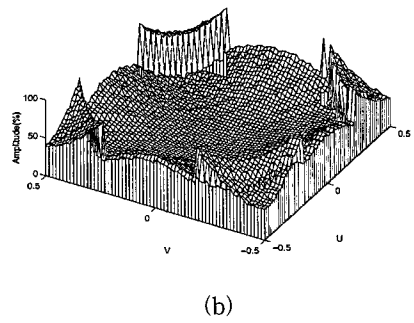
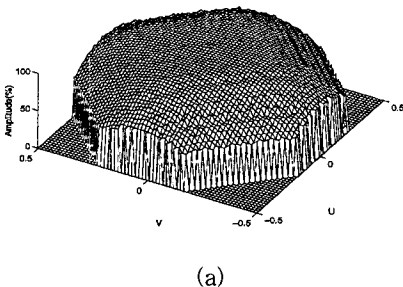


그림 4. 제안된 two-pass 알고리즘에 의한 주파수영역에서의 주파수 특성(cubic convolution에 의한 45° 영상회전 변환 (a=-0.5)). (a) aliasing이 제거된 영상 ; (b) aliased 영상
Fig. 4. Frequency characteristics in the Fourier domain after the two-pass suggested. (45° image rotation using cubic convolution (a=-0.5)); (a) image without aliasing; (b) its corresponding aliased image.

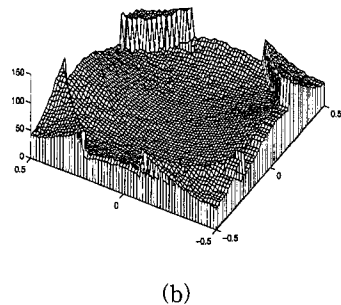
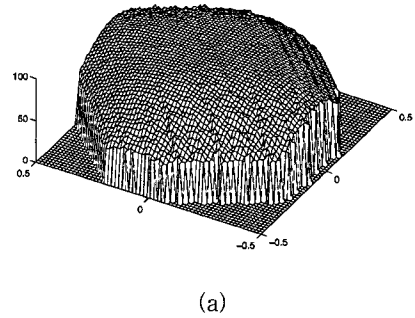


그림 5. 제안된 two-pass 알고리즘에 의한 주파수영역에서의 주파수 특성(cubic convolution에 의한 30° 영상회전 변환 (a=-0.5)). (a) aliasing이 제거된 영상 ; (b) aliased 영상
Fig. 5. Frequency characteristics in the Fourier domain after the two-pass suggested (30° image rotation using cubic convolution (a=-0.5)). (a) image without aliasing; (b) its corresponding aliased image.

IV. 동작성능 비교

그림 6에서는 cubic convolution에 의한 보간을 통한 영상회전변환 이후 부피의 감소를 보여준다. 그림 7은 bilinear 보간법에 의한 영상회전을 한 후의 부피 감소를 나타낸다. 식 (2)에 의한 two-pass 알고리즘과 식 (11)에서 새로 제안된 알고리즘 사이에 25° 회전각 근처에서 교점이 생긴다. Bilinear 보간에 의한 방법은 cubic convolution에 의한 three-pass 알고리즘^[4]보다 더 심각한 저조, 열화현상을 보여주고 있다.

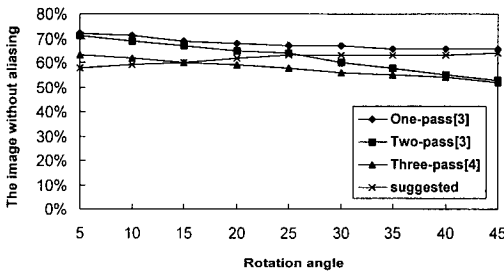


그림 6. Cubic convolution 에 의한 영상회전변환 후 각에 따른 영상의 열화 (a=-0.5)

Fig. 6. The image degradation after image rotation according to angle with cubic convolution (a=-0.5).

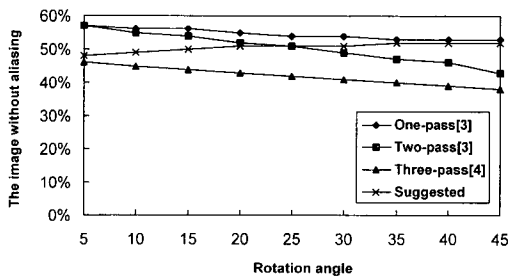


그림 7. Bilinear interpolation에 의한 영상회전변환 후 각에 따른 영상의 열화 (a=-0.5)

Fig. 7. The image degradation after image rotation according to angle with bilinear interpolation (a=-0.5).

하드웨어 구현에 있어, 계산횟수는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 표 1 은 알고리즘을 계산하는 과정에서 필요한 하나의 화소에 대한 계산수를 나타낸다.

표 1 에서 two-pass 알고리즘과 three-pass 알고리즘^[4]을 서로 비교해 보면, 기존의 two-pass 알고리즘 보다 three-pass 알고리즘의 경우 추가적인 계

산부하가 50% 증가한 반면, 제안된 two-pass 알고리즘의 경우 추가적인 계산부하는 21% 정도 필요하다. 중간 메모리가 $\sqrt{2}$ 배 증가하므로 제안된 two-pass 알고리즘은 first pass에서 $2\sqrt{2}$ 배의 계산이 필요하다. 그러나 pixel 수는 $1/\sqrt{2}$ 배 만큼 감소한다. 표 2 에서 필요한 중간 메모리의 크기를 알 수 있다.

표 1. Pixel 당 계산 횟수(100% for the Two-pass)
Table 1. The number of computations per pixel(100% for the Two-pass).

		2×2 (Bilinear)	4×4(Cubic)	8×8(Sinc)
One-Pass[3]		4(100%)	16(200%)	64(400%)
Two-Pass[3]	1 st Pass	2	4	8
	2 nd Pass	2	4	8
	Total	4(100%)	8(100%)	16(100%)
Three-Pass[4]	1 st Pass	2	4	8
	2 nd Pass	2	4	8
	3 rd Pass	2	4	8
	Total	6(150%)	12(150%)	24(150%)
Two-Pass Suggested	1 st Pass	2,828	5,656	11,812
	2 nd Pass	2	4	8
	Total	4,828(121%)	9,656(121%)	19,812(121%)

표 2. 512*512 pixels 에 대한 intermediate memory 의 크기(8 bits gray scale)
Table 2. The intermediate memory size based on 512*512 pixels(8 bits gray scale).

	No. of Memory	Memory Size
One-Pass[3]	0	0
Two-Pass[3]	1	512×512×8
Three-Pass[4]	2	2×512×512×8
Two-Pass Suggested	1	1,414×512×512×8

표 2 에서 알수 있듯이 two-pass 알고리즘을 서로 비교해보면 three-pass 알고리즘^[4]은 추가로 100%의 중간 메모리가 더 필요하지만 제안된 two-pass 알고리즘의 경우 단지 41.4%의 중간 메모리만을 더 필요로 한다.

V. Hardware 구조

제안된 알고리즘을 집적회로 소자로 구현할 경우, 기존의 two-pass 알고리즘에서 $\sqrt{2}$ 배 확장을 한 것

3차원 Fourier-theoretical 모델을 제안하였다. 이 방법중 하나의 원리로 주파수에 의한 aliased 영상과 non-aliased 경우를 관찰할 수 있다. 현재의 one-pass, two-pass, three-pass 회전변환이 비교 연구되었다.

1. 회전변환한 후 주파수 영역에서 원래 영상 진폭의 저조, 열화됨을 측정할 수 있다.
2. 주파수 영역에서 aliased image의 주파수 특성을 관찰할 수 있다.
3. 회전방법에 따른 성능과 동작특성을 나타낼 수 있다.

우리는 기존 방법들의 제한을 극복하기 위해 새로운 two-pass 알고리즘을 제안하였다. 식 (2)에 의한 기존의 two-pass 알고리즘은 회전각이 클 때($30^\circ - 45^\circ$) 고주파영역에서 심각한 저조, 열화현상을 가지고 있다^[1]. 25° 내의 회전각에서는 기존의 two-pass 알고리즘이 사용될 수 있고, 만약 회전각이 25° 보다 커질 경우 제안된 two-pass 알고리즘을 사용할 수 있을 것이다.

1. 큰 회전각($30^\circ - 45^\circ$)에서 제안된 two-pass 알고리즘은 one-pass 알고리즘과 거의 같은 동작 특성을 가지며, 기존의 two-pass 알고리즘보다 더 좋은 동작특성을 가지고 있다.
2. 제안된 two-pass 알고리즘은 기존의 two-pass 알고리즘과 비교해 볼때 6%의 추가적인 계산과 42%의 메모리가 더 요구된다. 그렇지만 제안된 two-pass 알고리즘은 three-pass 알고리즘보다 더 적은 계산과 메모리가 필요하다^[4].

마지막으로 제안된 two-pass 알고리즘의 hard

ware 구조를 제안하였으며, 제안된 two-pass 알고리즘은 4개의 counter가 더 필요하다.

※ 본 연구는 96년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] J. Ward and D. R. Cok, Resampling Algorithms for Image Resizing and Rotation, *SPIE Proc., Digital Image Processing Applications*, 1989, pp. 260-269.
- [2] G. Wolberg, Digital Image Warping, Los Alamitos, CA: *IEEE Press*, 1990.
- [3] T. Thong, Frequency Domain Analysis of two-pass rotation algorithm, *Proc. ICASSP 85 (TEMPA, FL)*, Mar. 1985, pp. 1333-1336.
- [4] D. Fraser and R. A. Schwengerdt, Avoidance of Additional Aliasing in Multipass Image Rotations, *IEEE Trans. Image Processing*, Nov. 1994, pp. 721-735.
- [5] J. A. Parker, R. V. Kenyon, and D. E. Troxel, Comparison of Interpolating Methods for Image Resampling, *IEEE Trans. Medical Imaging*, March 1983, pp. 31-39.
- [6] R. G. Keys, Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing, *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Dec. 1981, pp. 1153 - 1160.

저 자 소 개



鄭德鎭(正會員)

1948년 2월 8일생. 전자공학회 정회원. 1970년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1984년 미국 Utah State University 공학석사 (Electrical Eng.). 1985년 미국 University of Utah 공학박사

(Electrical Eng.). 1989년 ~ 인하대학교 전자재료공학과 부교수



李澤周(正會員)

1997년 인하대학교 전자재료공학과 졸업. 현 인하대학교 전자재료공학과 석사과정