

# 라돈 변환을 이용한 회전된 물체의 효율적인 보정

## (Efficient Correction of a Rotated Object Using Radon Transform)

조보호<sup>†</sup> 정성환<sup>‡</sup>  
 (Bo-Ho Cho) (Sung-Hwan Jung)

**요약** 본 논문은 비전 시스템을 통하여 입력되어 들어오는 회전된 물체를 보정하기 위해 사용하는 선 구조 분석 도구인 라돈변환의 문제점을 해결하기 위해 입력 영상 간소화 방법을 제안한다. 먼저, 비전 시스템을 통하여 입력된 영상 내에서 불필요한 배경 부분을 제거하여 물체 영상을 추출한다. 다음, 추출된 물체 영상에 대하여 기울기를 고려하여 제한된 물체 영상만을 라돈 변환의 최종 입력 영상으로 추출한다. 마지막으로 최종 입력 영상에 대하여 라돈 변환을 사용하여 회전각을 추출한 후, 원 영상 내의 회전된 물체를 보정한다. 실험 결과, 제안한 방법은 처리 속도를 약 64% 향상시킬 수 있었고, 기억용량은 약 18% 줄일 수 있었으며, 선 검출률은 약 18%까지 향상시킬 수 있었다.

**키워드** : 회전된 물체, 축소 영상, 라돈 변환, 보정

**Abstract** In this paper, we propose an input image reduction method to solve the problems of Radon transform which is a line structure analysis tool to correct a rotated object through a vision system. First we extract an object image removed background from the input image. Then we also select a reduced object image as a final input image of Radon transform from the object image by considering slope. Finally we extract a rotated angle by using Radon transform with the final input

† 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '라돈 변환을 이용한 회전된 물체의 효과적인 보정'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 창원대학교 컴퓨터공학과  
 chobh@changwon.ac.kr

‡ 종신회원 : 창원대학교 컴퓨터공학과 교수  
 sjung@changwon.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 6일  
 심사완료 : 2008년 3월 5일

Copyright@2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 데이터 제14권 제3호(2008.5)

image and correct the rotated object with the angle. In experimental results, we could improve the process time of about 64%, reduce the memory space of about 18% and make progress the line detection rate of about 18%.

**Key words** : Rotated object, Reduced image, Radon transform, Correction

### 1. 서 론

컴퓨터 비전 분야에서 선을 비롯한 코너(corner), 커브(curve)와 같은 기하학적인 요소들을 영상에서 찾아내는 것은 기본적인 작업이라 할 수 있다. 기하학적인 요소들을 찾는 여러 도구 중 하나가 라돈 변환(Radon transform)이다. 라돈 변환은 1917년 독일의 Johann Radon에 의해 최초로 제안되었고[1], 1971년 영국의 Godfrey N. Hounsfield는 X-선을 이용한 컴퓨터 단층 촬영기법(CT: Computerized Tomography)을 라돈 변환 기술을 이용하여 개발하였다.

라돈 변환은 의학계뿐만 아니라, 인공위성 또는 항공 기로부터의 SAR(Synthetic Aperture Radar) 분석, 영상 검색, 영상 처리, 정보 보호 그리고 선 구조 분석(line structure analysis) 등에 널리 사용되고 있다. 특히 선 구조 분석을 위하여 하프 변환(Hough transform)도 많이 사용되고 있으나, 실제로 하프 변환은 라돈 변환의 특수한 경우이다[2]. 라돈 변환을 이용한 선 구조 분석은 단순히 영상 내에서 존재하는 선 구조 분석뿐만 아니라, 영상 내에 존재하는 코너, 오리엔테이션 공간에서의 커브, 노이즈(noise)가 심한 영상 내에 존재하는 선 구조 등을 효과적으로 분석할 수 있다[3,4].

그러나 라돈 변환은 선 구조 분석을 위해 영상 내의 투영 각도와 투영 거리에 대하여 투영 영상 내에 존재하는 모든 화소 값을 누적하기 때문에, 영상의 크기가 커짐에 따라 영상 크기에 비례하여 계산량이 증가하게 되고, 변환 결과 데이터를 저장하기 위한 기억 용량 증가의 문제점을 가지고 있다[5,6].

따라서 본 논문에서는 라돈 변환의 이러한 문제점을 개선하고, 비전 시스템을 통하여 입력된 영상 내의 회전된 물체를 효과적으로 보정하기 위해 입력 영상을 간소화하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 먼저, 비전 시스템을 통하여 입력된 영상 내에서 배경 부분이 제거된 물체 영상을 추출한다. 다음으로 추출된 물체 영상에서 기울기를 고려하여 축소 영상을 추출한다. 마지막으로, 추출된 축소 영상을 라돈 변환의 입력 영상으로 사용하여 선 구조 분석을 실시하여 회전된 각도를 추출한 후 회전된 물체를 보정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 회전된 물체를 보정하는 전체 과정에 대하여 살펴보고, 3장에서는

라돈 변환에 입력되는 영상의 간소화 과정에 대하여 알아본다. 4장에서는 선 구조 분석 도구인 라돈 변환에 대하여 살펴본 후, 5장에서 회전각 추출 및 보정에 관하여 알아본다. 그리고 6장에서 실험 및 분석을 살펴보고, 마지막으로 7장에서 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대해서 검토한다.

## 2. 회전된 물체 보정 과정

본 논문에서는 그림 1과 같은 전체 과정을 통하여 영상 내에 회전된 물체를 보정한다. 이 과정은 크게 그림 1의 왼쪽 부분의 전처리 과정과 오른쪽 부분의 라돈변환을 통한 회전각 추출 및 보정으로 구성되어 있다.

먼저는 전처리로서 비전 시스템을 이용하여 컬러 영상을 입력받고, 컬러 영상을 NTSC(National Television Systems Committee)가 제안한 방법으로 그레이 영상으로 변환한다. 변환된 그레이(gray) 영상을 그래디언트(gradients) 방법을 이용하여 에지(edge) 영상으로 변환한 후, 오쓰(Otsu) 방법을 이용하여 이진 영상을 획득한다. 그리고 획득된 이진 영상에 대하여 투영을 실시하여 배경 영상이 제거된 물체 영상을 추출한 후, 추출된 물체 영상에서 효과적인 데이터 처리를 위하여 기울기(slope)를 고려하여 축소된 영상을 획득한다. 다음으로 축소된 영상을 라돈변환의 입력으로 사용하여 회전각을 추출한 후 회전된 물체를 보정한다.

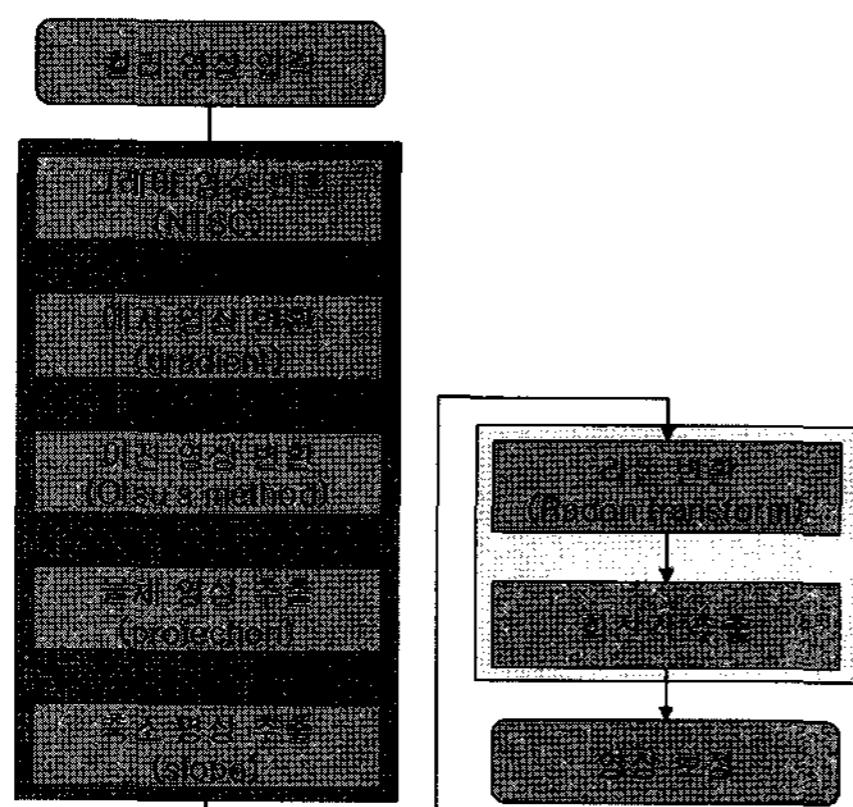


그림 1 회전된 물체 보정 과정

## 3. 전처리 과정

### 3.1 그레이 영상 변환

입력된 컬러 영상은 약 1,600만 컬러로 이루어진 24 bit 영상이다. 이 영상을 미국 텔레비전 시스템 위원회(National Television Systems Committee)가 제안한 방법을 이용하여 256 단계의 그레이 영상으로 변환한다[7].

### 3.2 에지 영상 변환

영상에서 에지를 추출하는 방법에는 다양한 방법들이 있다. 그러므로 연구의 목적에 적합한 에지 추출 방법을 선택하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 여러 에지 방법을 실행하고 비교해본 결과, 명암이 급격히 변화하는 부분에 대해서는 민감하고, 완만하게 변화하는 부분에 대해서는 덜 민감한 그래디언트 방법을 이용하여 그레이 영상에서 에지 영상을 획득한다. 그래디언트 방법은 다른 에지 추출 방법에 비하여 단순하고, 처리속도가 상대적으로 빠르다[8].

### 3.3 이진 영상 변환

비전 시스템의 환경은 다양한 조명 조건과 비교적 단순한 배경을 가지는 특징이 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 조명 조건에 자동으로 적응할 수 있고, 배경과 물체를 효과적으로 추출해 낼 수 있는 오쓰의 적응적 임계값 알고리즘(adaptive threshold algorithm)을 이용하여 에지 영상을 이진 영상으로 변환한다. 오쓰의 적응적 임계값 알고리즘은 히스토그램을 어떤 임계값으로 2개(배경과 물체)로 나누었을 때, 각 영역 사이의 분산이 최대가 되도록 임계값을 결정하는 것이다. 이 방식은 2개의 영역으로 분리하였을 경우 양쪽 영역의 정리가 쉽고 영역 사이의 분리가 우수하다[9].

### 3.4 물체 영상 추출

본 논문에서는 이진 영상에서 불필요한 배경 부분을 없애고 물체 영상을 추출하기 위해 이진 영상으로부터 획득한 히스토그램에서 그림 2와 같이 히스토그램의 양 끝에서 중앙 쪽으로 물체 영역의 좌표를 조사하지 않고, 그림 3과 같이 히스토그램의 중앙에서 좌우로 조사하여 좌표를 찾는 방법을 제안한다. 이는 히스토그램의 양 끝에서 중앙 쪽으로 물체 영상의 좌표를 조사할 때, 그림 2의 원 부분과 같은 잡음 등에 의하여 좌표를 정확하게 찾기가 어렵고, 이로 인해 잘 못된 좌표를 구할 수 있기 때문이다. 먼저는 Y축 방향으로 투영을 실시하여 제안한 방법을 이용하여 두 개의 Y축 좌표를 찾고, 이 좌표를 이용하여 Y축 방향으로 불필요한 부분을 없앤 축소 영상을 따로 저장한다. 다음으로 따로 저장된 영상에 대하여 X축 방향으로 투영을 다시 실시하여 히스토그램을 획득하고, 그 획득된 히스토그램의 중앙에서 좌우로

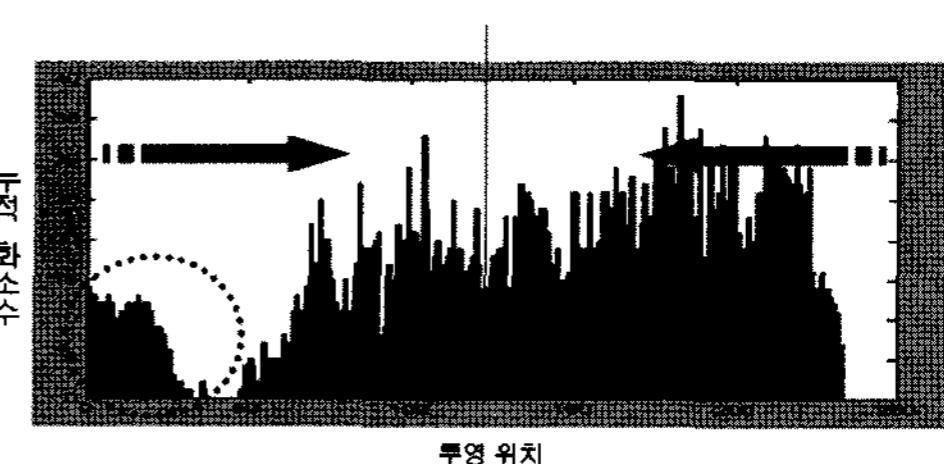


그림 2 양쪽에서 히스토그램 조사

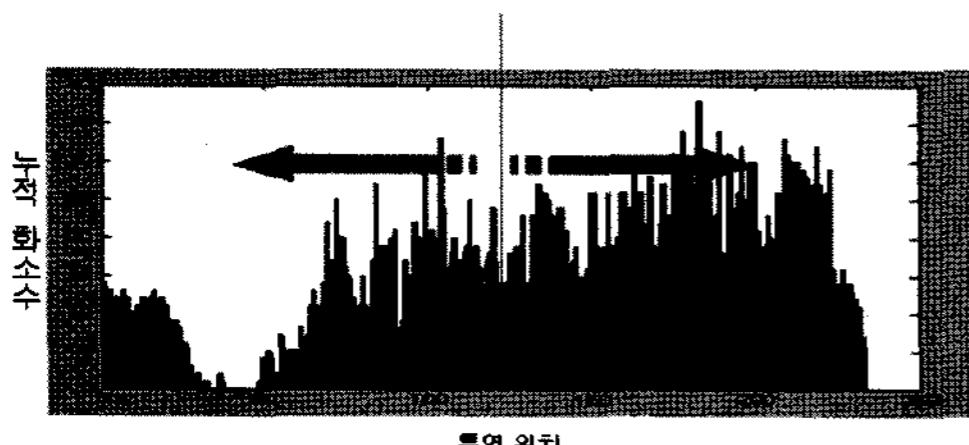


그림 3 중앙에서 히스토그램 조사

조사하여 X축의 두 개의 좌표를 찾아낸다. 이렇게 찾아낸 좌표를 이용하여 배경이 제거된 물체 영상을 추출한다.

### 3.5 축소 영상 추출

본 논문에서는 Y축과 X축 투영을 통하여 물체 영상을 추출한 후, 추출된 물체 영상에 대하여 기울기  $\pm 15^\circ$ 도를 고려하여 그림 4와 같이 축소 영상을 추출하는 것을 제안한다. 이는 비전 시스템의 대상이 되는 물체는 기울기  $\pm 15^\circ$ 도 내외로 회전되어 위치하는 경우가 많고, 불필요한 영역이 제거된 물체 영상에서 기울기  $\pm 15^\circ$ 도를 고려하여 추출한 축소 영상에는 충분한 선 구조 특징이 포함되기 때문이다. 축소 영상을 추출하기 위해 식 (1)과 (2)를 이용하여 축소 영상의 높이(Height)를 구한다.

$$\tan(15) = \text{Height} / \text{Width} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Height} &= \tan(15) * \text{Width} \\ &= (0.2685) * \text{Width} \approx 1/4 * \text{Width} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 Width는 투영을 이용하여 추출한 물체 영상의 넓이고, Height는 기울기  $\pm 15^\circ$ 도를 고려하여 물체 영상에서 추출한 축소 영상의 높이이다.

투영을 통하여 배경을 없앤 물체 영상을 추출한 후, 그 물체 영상에 대하여 다시 기울기를 고려하여 축소 영상을 획득함으로써 라돈 변환의 처리 속도 향상뿐만 아니라, 물체의 기울어진 경계선과 직접적으로 관계없는 외부 정보를 배제하게 됨으로서 보다 효과적으로 기울어진 물체의 각도를 추출해 낼 수가 있다.

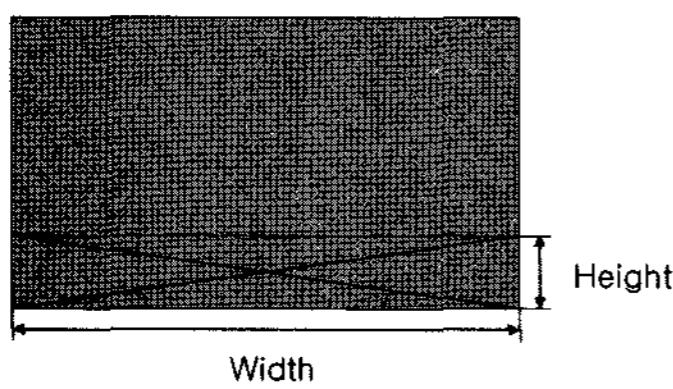


그림 4 축소 영상 추출

## 4. 라돈 변환

라돈 변환은 2차원 유클리드 공간(Euclidean space) 상의 영상  $f(x, y)$ 를 선 적분하여 라돈 변환 공간(Radon transform space) 상에 누적함으로써 선형 특징을 강조

하고 검출하는데 사용할 수 있다. 또한 그 고유의 적분 기능으로 인하여 잡음으로 오염된 영상에서의 특징 추출이 보다 쉽고 잡음에 강건한 특징 추출이 가능하다. 주어진 투영 각도  $\theta$ 에 대한 영상  $f(x, y)$ 의 라돈 변환은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} g(\rho, \theta) &= R(f) \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x\cos\theta + y\sin\theta - \rho) dx dy, \\ &- \infty < x, y < \infty, -\infty < \rho < \infty, 0 \leq \theta < \pi \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $g(\rho, \theta)$ 는 2차원 영상을 선 적분하여 획득한 투영 데이터(projection data)이고,  $\rho$ 는 원점에서 법선의 길이이다.  $\theta$ 는 법선과  $x$ 축과 이루는 각도이며,  $R$ 은 라돈 변환 오퍼레이터(operator)이다. 그리고  $\delta$ 는 디락 델타 함수(dirac delta function)이다.

각도  $\theta$ 에서 영상  $f(x, y)$ 는 회전된 좌표계  $(\rho, u)$ 에 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (4)를 식 (3)에 대입하여 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} g(\rho, \theta) &= R(f) \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} f(\rho\cos\theta - u\sin\theta, \rho\sin\theta + u\cos\theta) \delta(0) d\rho du, \\ &- \infty < \rho < \infty, 0 \leq \theta < \pi \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 디락 델타 함수는 변수  $\rho$ 에 대한 함수이고, 식 (6)과 같은 성질을 가진다.

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x = 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (6)$$

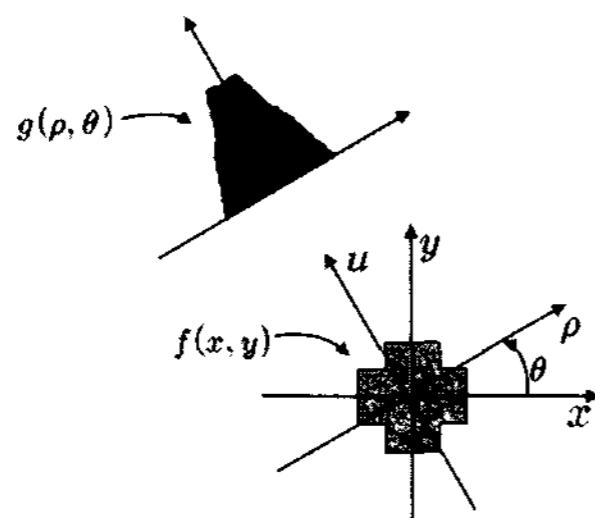
따라서 라돈 변환은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} g(\rho, \theta) &= R(f) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho\cos\theta - u\sin\theta, \rho\sin\theta + u\cos\theta) du, \\ &- \infty < \rho < \infty, 0 \leq \theta < \pi \end{aligned} \quad (7)$$

그림 5는 유클리드 공간 상에서 각도  $\theta$ 에서 영상  $f(x, y)$ 의 라돈 변환 공간상으로 적분 되는 것을 보여준다.

## 5. 회전각 추출 및 보정

회전각 추출 및 보정은 먼저, 전처리 과정을 통하여 추출한 축소 영상에서 투영 각도에 따라 선 적분하여 라돈 변환 공간상으로 누적된 투영 데이터를 획득한다. 여기서 획득된 투영 데이터는 2차원 행렬이며, 행렬의 열의 크기는 투영하는 각도의 회수이고, 본 논문에서는  $0^\circ \sim 179^\circ$ 로서 열의 크기는 180이다. 행의 크기는 각 투영 각도에서 법선을 따라 선 적분한 개수이다. 이렇게 획득한 2차원 행렬에서 식 (8)과 같이 최대값을 찾고, 그 최대값의 열 좌표를 이용하여 회전된 물체의 각도를 알아낸다. 그리고 이 각도를 이용하여 원 영상 내의 회전된 물체를 보정한다.

그림 5 영상  $f(x, y)$ 의 라돈 변환

$$\text{Maxval} = \max(R = (r_{i,j})), \quad (8)$$

$$-\frac{m}{2} \leq i \leq \frac{m}{2}, \quad 0 \leq j < 180$$

여기서  $R = (r_{i,j})$ 는 영상  $f(x, y)$ 가 라돈 변환을 통하여 변환 공간상으로 변환 될 때 획득한 2차원 행렬이며,  $m$ 은 각 투영 각도에서의 선 적분 회수이다.

## 6. 실험 및 분석

본 논문에서는 다양한 비전 시스템 환경에서 획득한 컬러 영상에 대하여 선 구조 분석 도구인 라돈변환을 이용하여 영상 내의 회전된 물체를 보정하는 실험을 실시하였다. 라돈 변환의  $\theta$ 의 범위는  $0^\circ \sim 179^\circ$ 이고,  $\theta$ 의 값은  $1^\circ$ 씩 증가하는 것으로 하였다.

### 6.1 영상별 회전각 추출 분석

비전 시스템을 통하여 회전된 영상 내의 회전된 물체를 보정하기 위해서는 회전된 각도를 효과적으로 추출 할 수 있어야 한다. 그림 6은 각 영상별 라돈 변환을 실시하였을 때의 의사 컬러(pseudo color) 그래프와 투영 데이터에 대한 히스토그램이다. 그림 6(a)의 컬러 영상과 6(b)의 그레이 영상의 투영 데이터에 대한 의사 컬러 그래프와 히스토그램을 분석해 볼 때, 최대값을 찾기 가 쉽지 않음을 쉽게 알 수 있다. 그리고 그림 6(c)의 에지 영상과 6(d)의 이진 영상의 경우 의사 컬러 그래프와 히스토그램에서 뚜렷한 두 개의 최대값이 두르러 지는 것을 관찰할 수가 있다. 그러나 그림 6(c)의 경우 두 개의 최대값이 비슷한 값을 나타내고 중간 부위와도 상대적으로 값 차이가 많이 나지 않지만, 그림 6(d)의 이진 영상에 대한 라돈 변환의 경우, 다른 경우보다 더 효과적으로 영상 내에서 물체의 기울어진 각도를 추출 할 수가 있다는 것을 관찰 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 비전 시스템을 통하여 입력된 컬러 영상을 이진 영상으로 변환하여 실험을 실시한다.

### 6.2 전체 처리 과정

그림 7은 비전 시스템으로부터 컬러 영상이 입력되었을 때, 영상 내의 회전된 물체를 보정하는 전체 처리 과정을 순서에 따라 보여주는 예시이다. 컬러 영상의 입력

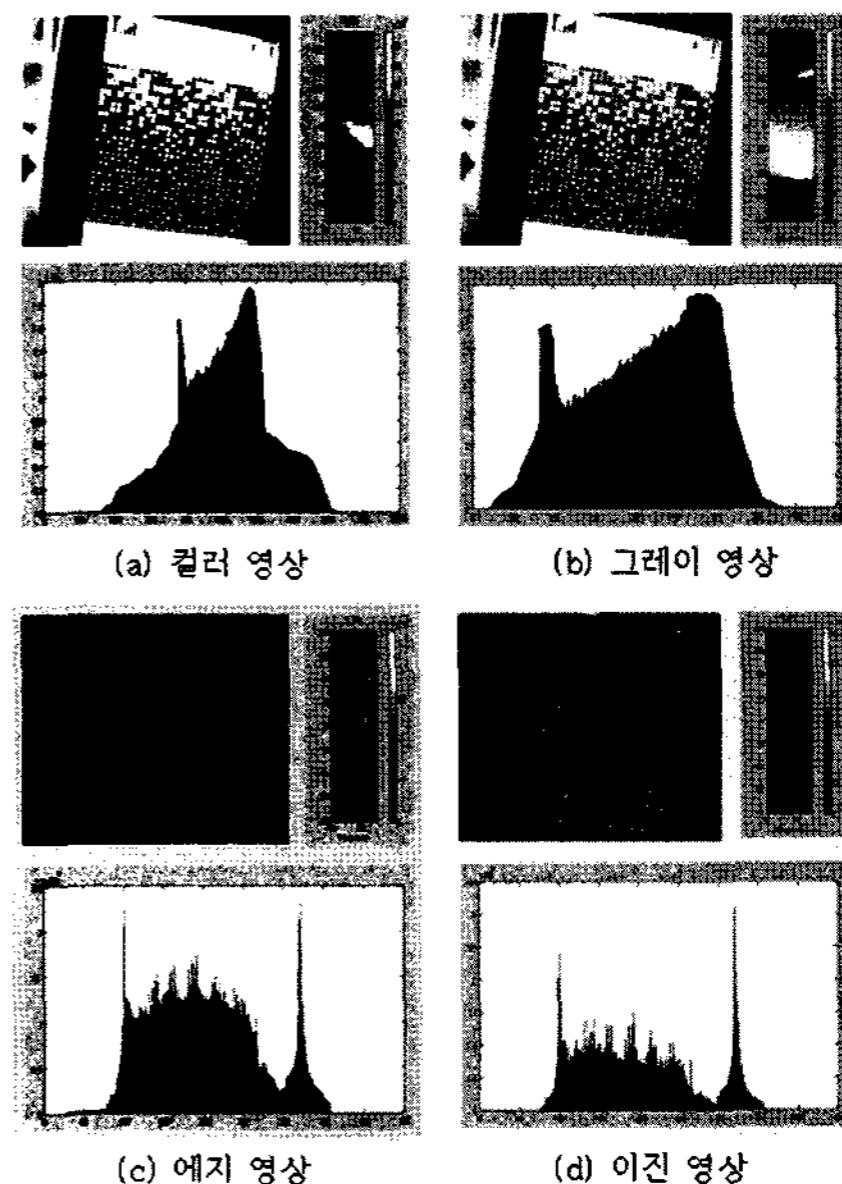


그림 6 각 영상별 의사 컬러와 히스토그램

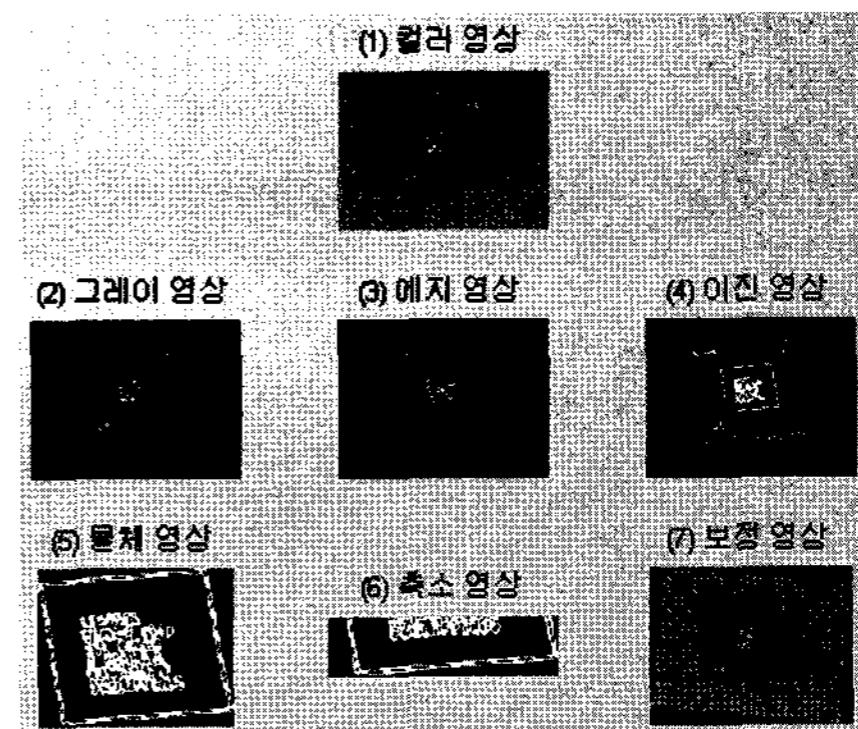


그림 7 회전된 물체 보정 예

으로부터 순서에 따라 이진 영상을 얻고, 획득한 이진 영상에서 Y, X축으로 투영을 실시하여 물체 영역을 추출하고, 추출된 물체 영역에서 기울기를 고려하여 축소 영상을 추출한다. 이때 추출된 축소 영상 내에는 회전된 직선 선분과 직접적으로 관계없는 많은 부분이 제거된다. 그리고 축소된 영상 내에는 실제로 회전된 선 구조의 특징이 효과적으로 포함되어 있다. 이렇게 추출한 축소 영상을 라돈 변환의 입력 영상으로 사용함으로써 라돈 변환의 처리 시간과 기억 용량을 줄이고, 더불어 회전된 각을 효과적으로 추출할 수 있다.

### 6.3 성능 비교

본 논문에서는 제안한 방법의 효과를 평가하기 위해 현재 대부분 사용하는 일반적인 방법과 성능을 비교하였다. 일반적인 방법의 영상으로는 비전 시스템을 통

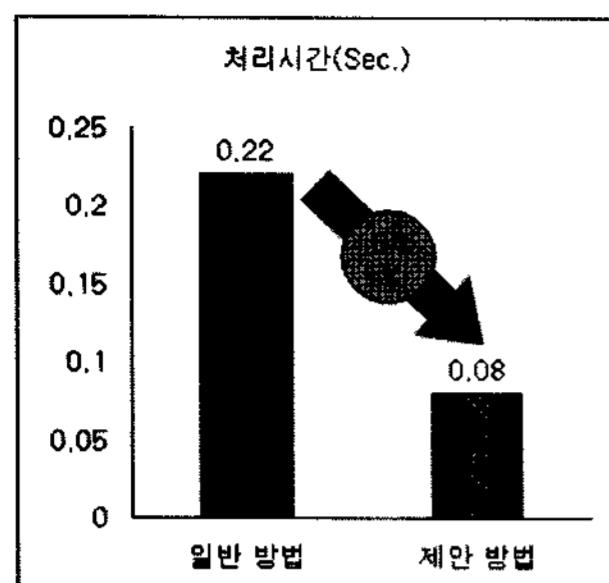


그림 8 처리 시간

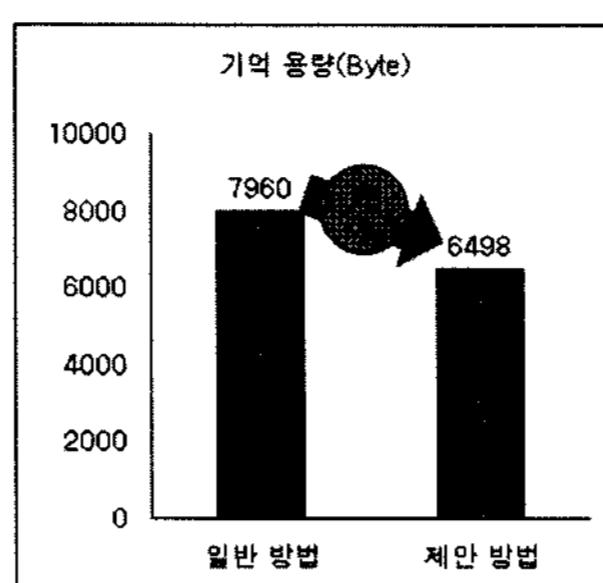


그림 9 기억 용량

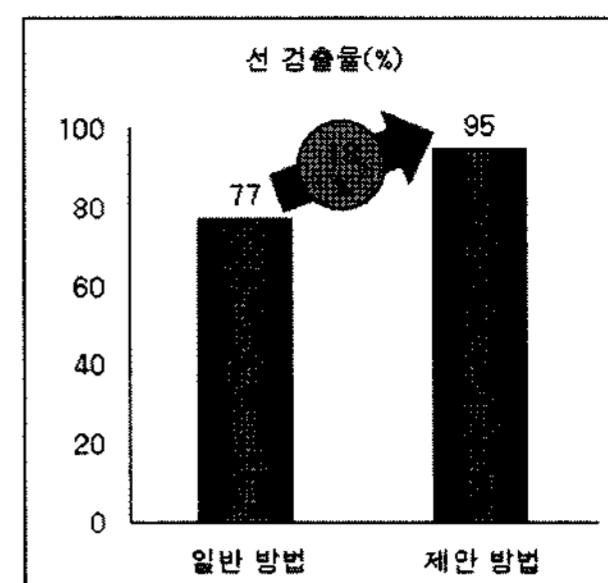


그림 10 선 검출율

여 입력된 컬러 영상을 이진 영상으로 변환한 물체 영상을 사용하였고, 제안한 방법의 경우는 기울기를 고려하여 추출한 축소된 입력 영상을 이용하였다. 본 실험은 Microsoft Windows XP, Core2 CPU, 1.86 GHz, 1G RAM에서 다양한 환경의 회전된 88개의 영상을 대상으로 실험을 실시하였다.

앞서 언급한 두 방법의 영상에 대한 라돈 변환의 결과는 다음 그림 8, 9 그리고 10과 같다. 그림 8은 두 방법의 영상에 대한 라돈 변환의 처리 시간으로서 제안 방법이 일반 방법 보다 약 64% 개선되었다. 그림 9는 입력 영상에 대하여 라돈 변환을 할 때 처리된 결과를 저장하기 위해 필요한 기억 용량으로서 본 논문에서 제안한 방법으로 약 18% 개선할 수 있었다. 그리고 그림 10은 영상 내의 기울어진 선 검출율을 보여준다. 그림에서와 같이 제안한 방법은 일반 방법보다 약 18% 선 검출율을 향상시킬 수 있었다.

## 7. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 컴퓨터 비전 시스템을 통하여 입력된 회전된 물체를 보다 효과적으로 보정하기 위하여 입력 영상 간소화 방법을 제안하였다. 선 구조 분석 도구인 라돈 변환의 경우, 입력되는 영상의 크기( $N \times M$ )와 입력 영상에 대한 투영 회전각의 수( $P$ )에 따라  $NMP$ 의 계산이 필요하고, 또한 라돈 변환의 결과를 저장하기 위한 기억용량의 문제를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 라돈 변환의 이러한 문제를 해결하고, 보다 정확하고 효과적으로 회전각을 추출하여 보정하기 위해 전처리 과정을 거쳤다. 전처리 과정을 통하여 라돈 변환의 입력 영상을 간소화함으로써 처리속도와 기억 용량을 개선할 수 있었고, 회전각을 효과적으로 추출하여 회전된 물체를 보정할 수 있었다. 실험 결과, 제안한 방법은 약 64%의 속도 개선과 약 18%의 기억 용량 개선 그리고 약 18%의 선 검출율 향상을 이룰 수 있었다.

그러나 일반적인 방법을 이용했을 때는 회전된 물체를 제대로 보정할 수 있었지만, 제안한 방법을 이용했을

때 오히려 추출된 축소 영상에 선 구조와 직접적으로 관계없는 부분들로 인하여 제대로 보정을 못하는 경우도 있었다. 따라서 향후에는 이러한 문제점을 보완하는 연구가 필요하다 하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Radon, "Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten," Berichte Sächsische Akademie der Wissenschaften, Leipzig, Mathematisch-Physikalische Klasse, Vol.69, pp. 262-277, 1917.
- [2] Nguyen Dinh Thuc and Duong Anh Duc, "The Hough Transform - A Radon - Like Transform," International Conference on Electronics, Information, and Communications, pp. 274-275, 2004.
- [3] Seung Jin Park, Muhammad Bilal Ahmad, Rhee Seung-Hak, Seung Jo Han, and Jong An Park, "Image Corner Detection Using Radon Transform," LNCS 3046, pp. 948-955, 2004.
- [4] Nitin Aggarwal and William Clem Karl, "Line Detection in Images Through Regularized Hough Transform," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.15, No.3, pp. 582-591, 2006.
- [5] William H. Press, "Discrete Radon transform has an exact, fast inverse and generalizes to operations other than sums along lines," PNAS, Vol.103, No.51, pp. 19249-19254, 2006.
- [6] Cris L. Luengo Hendriks et al., "The generalized Radon transform: Sampling, accuracy and memory considerations," Pattern Recognition, Vol.38, No.12, pp. 2494-2505, 2005.
- [7] John A. Martinez, Uriel Rodriguez, and Michael Nechyba, "An automated implementation of beamlets to classify frames of triggered lightning," FCRAR 2003, pp. 1-6, 2003.
- [8] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992.
- [9] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics SMC-9, pp. 62-66, 1979.