Journal of Convergence for Information Technology
Vol. 11. No. 10, pp. 20-26, 2021
e-ISSN 2586-4440
DOI : https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2021.11.10.020

방사 투영 프로파일을 이용한 회전각 추정 방법

최민석
삼육대학교 지능정보융합학부 교수

Rotation Angle Estimation Method using Radial Projection Profile

Minseok Choi
Professor, Division of AI Informatics, Sahmyook University

요 약 본 논문에서는 영상 인식 환경에서 영상 정렬에 필요한 회전각 추정 방법 중 낮은 사양의 임베디드 기반 환경에 적용 가능한 방법을 제안하고 기존의 복소 모멘트를 이용하는 방법과 비교하였다. 제안된 방법은 영상을 극좌표로 변환한 후 거리축 방향으로 투영된 1차원 프로파일의 유사도 매칭을 통하여 회전각을 추정한다. 추가로 연산을 더 단순화시킨 투영 프로파일의 벡터합을 이용하는 방법을 선택할 수도 있다. 이진 패턴 영상과 흑백 명암 영상을 대상으로 진행한 실험을 통하여 제안된 방법의 추정 오차가 기존의 복소 모멘트를 이용하는 방법과 큰 차이가 없으며 보다 적은 연산과 낮은 시스템 자원이 요구됨을 보였다. 추후 확장을 위하여 흑백 명암영상에서 회전 중심을 일치시키는 방법에 관한 연구가 필요할 것이다.

주제어 : 회전각, 각도 추정, 회전불변 모멘트, 방사 투영, 벡터합

Abstract In this paper, we studied the rotation angle estimation methods required for image alignment in an image recognition environment. In particular, a rotation angle estimation method applicable to a low specification embedded-based environment was proposed and compared with the existing method using complex moment. The proposed method estimates the rotation angle through similarity mathcing of the 1D projection profile along the radial axis after converting an image into polar coordinates. In addition, it is also possible to select a method of using vector sum of the projection profile, which more simplifies the calculation. Through experiments conducted on binary pattern images and gray-scale images, it was shown that the estimation error of the proposed method is not significantly different from that of complex moment-based method and requires less computation and system resources. For future expansion, a study on how to match the rotation center in gray-scale images will be needed.

Key Words : Rotation angle, Angle estimation, Rotation invariant moment, Radial projection, Vector sum

1. 서론

컴퓨터 비전 기술을 이용한 영상 기반 검사시스템에서 특정 표식이나 패턴을 인식할 때 대상의 회전 여부와 무관하게 인식하는 것이 중요하다. 그리고 때에 따라서는 인식된 패턴의 회전된 각도까지 측정하여 활용하는 것이 필요할 때도 있다[1-3]. 예를 들면 고배율 영상을 이용하는 대형 평판형 디스플레이 검사장비에서 위치 정렬을 위한 표식을 인식 후 그 회전각을 구하면 다음에 인식해야 할 표식의 위치를 예측하여 빠르게 다음 표식을 찾는 것이 가능해진다. 또한 로봇을 이용한

*Corresponding Author : Minseok Choi(mschoi@syu.ac.kr)
Received August 24, 2021
Revised October 6, 2021
Accepted October 20, 2021
Published October 28, 2021

자동 조립 공정에서 부품의 회전각을 제어할 때나 각종 외형 검사에서 표준 영상과의 비교를 위한 정렬을 수행하기 위해서도 회전각 측정이 요구된다. 다중 카메라를 이용하는 환경에서 카메라 사이의 정렬 과정에도 회전각 측정이 필요하다[4,5].

이처럼 패턴의 회전각 측정이 요구되는 경우 일반적으로 패턴의 주축(principal axes)를 이용하는 고전적 방법이 활용되었다[6]. 하지만 주축을 이용하는 방법은 대상 패턴이 원형 분포되어 장축(major axes)과 단축(minor axes)이 명확하지 않으면 정확도가 낮아지기 때문에 대상 패턴이 장축과 단축이 명확하게 구분될 수 있는 방향성을 가질 경우에만 적합하다[7].

이러한 한계를 극복하기 위해 영상 검색이나 패턴 정합에 저니키 모멘트(Zernike moments)를 이용하는 방법이 제안되었다. 이는 저니키 모멘트가 패턴이 회전되어도 모멘트의 절댓값(magnitude)이 변하지 않는 특성을 가진 복소(Complex) 모멘트이기 때문이다[8]. 이러한 복소 모멘트의 위상(phase)은 회전각에 따라 값이 변하게 되기 때문에 위상을 이용하여 패턴의 회전각을 추정하는 것이 가능하다[9]. MPEG-7의 모양 기술자로 채택된 Angular Radial Transform (ART)는 저니키 모멘트와 비교해 회전 불변 패턴 정합에 더 우수한 특성을 보인다. 또한 회전각 측정에 중요한 기저함수의 회전 방향 복잡도를 저니키 모멘트와는 다르게 차수와 독립적으로 정의할 수 있어서 보다 효율적으로 회전각을 측정할 수 있다[10].

저니키 모멘트나 ART를 이용한 회전각 추정 방법은 회전 방향의 해상도가 다른 여러 개의 복소 기저함수를 이용하여 계산된 계수 값의 위상차를 이용한다. 이때 여러 개의 후보 값이 나오게 되어 그 모호성을 제거하기 위해 통계적 기법을 이용하여 회전각을 추정하는 방법을 사용한다. 따라서 계산량이 많고 복잡한 특성을 가진다.

최근 IOT 환경의 빠른 보급과 함께 PC 기반이 아닌 낮은 사양의 임베디드 기반 영상 인식 환경에서 적용 가능한 회전각 추정 방법이 요구된다. 이를 위하여 본 논문에서는 대상 패턴을 극좌표로 변환하여 회전을 수평 이동으로 표현되도록 한 후 거리 축 방향의 수직 투영 프로파일을 이용하여 회전각을 추정하는 방법을 제안하고, 기존의 방법들과 비교한다.

본 논문의 구성은, 2장에서 저니키 모멘트와 ART의 위상 정보를 이용한 회전각 추정 방법에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안된 회전각 추정 방법에 관하여 서술한다. 4장에서는 각 방법에 대한 비교 실험 결과를 보여주고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 저니키 모멘트와 ART를 이용한 회전각 추정 방법

2.1 저니키 모멘트

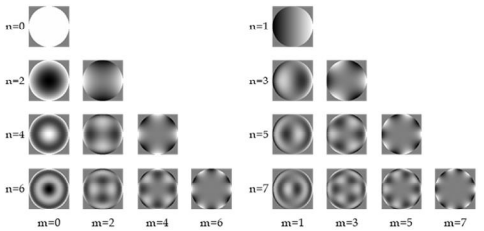
저니키 모멘트는 극좌표 상의 단위원 안에 정의되는 복소 기저함수와 이미지의 내적으로 계산된다[8]. 기저함수 $V_{nm}(\rho,\theta)$는 방사 방향 다항식 $R_{nm}(\rho)$과 원형 주기함수의 곱으로 식 1과 같이 정의된다.

$$V_{nm}(\rho,\theta) = R_{nm}(\rho)\exp(jm\theta),\ \rho \le 1 \qquad (1)$$

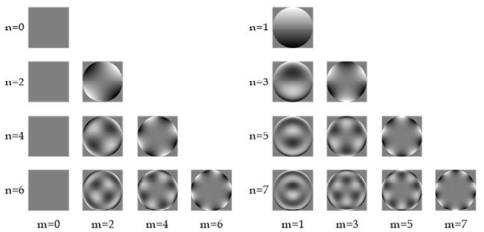
차수(order) n은 0 또는 양의 정수이며, 반복수(repetition) m은 $n-|m|$이 짝수이고, $|m| \le n$인 정수이다. 방사 방향 다항식 $R_{nm}(\rho)$은 다음과 같이 정의된다.

$$R_{nm}(\rho) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} (-1)^s \frac{(n-s)!}{s!\left(\frac{n+|m|}{2}-s\right)!\left(\frac{n-|m|}{2}-s\right)!}\rho^{n-2s} \qquad (2)$$

아래 Fig. 1은 저니키 모멘트의 기저함수 일부를 보여준다.



(a) Real parts of Zernike basis functions up to order 7



(b) Imaginary parts of Zernike basis functions up to order 7

Fig. 1. The basis functions of Zernike moments

극좌표 상에서 이차원 이미지 패턴 $f(\rho,\theta)$의 저니키 모멘트 값은 아래 식3과 같이 정의된다.

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi}\sum_{\rho=0}^{1}\sum_{\theta=0}^{2\pi} V_{nm}^{*}(\rho,\theta) f(\rho,\theta) \qquad (3)$$

$f^{r}(\rho,\theta)$를 $f(\rho,\theta)$가 α만큼 회전된 패턴이라고 하면, $f^{r}(\rho,\theta) = f(\rho,\theta+\alpha)$가 되므로, 회전된 패턴의 저니키 모멘트 값은 식 4와 같다.

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi}\sum_{\rho=0}^{1}\sum_{\theta=0}^{2\pi} V_{nm}^{*}(\rho,\theta) f(\rho,\theta+\alpha) \qquad (4)$$

즉, $Z_{nm}^{r} = Z_{nm}\exp(jm\alpha)$이 되고 두 모멘트의 절댓값은 식 5처럼 같아진다.

$$\| Z_{nm}^{r} \| = \| Z_{nm} \| \qquad (5)$$

회전에 따른 두 모멘트의 위상 차이는 아래 식 6과 같이 정의된다.

$$\Theta_{nm} \equiv \arg\left(\frac{Z_{nm}^{r}}{Z_{nm}}\right) = m\alpha \qquad (6)$$

즉, 회전각 α는 위상 차이를 반복수 m으로 나눈 것으로 계산된다.

실제 회전각을 추정하기 위해 Kim은 [9]에서 디지털 패턴의 양자화 오류의 영향을 고려하여, 오류를 최소화하는 회전각을 추정하기 위하여 확률 모델을 이용하여 오차를 최소화하는 값을 찾는 방법을 제안하였다. 이 방법은 $[0,2\pi]$구간의 확률밀도함수의 양자화 해상도에 따라 계산량이 결정되는 특징을 갖는다.

Revaud는 [11]에서 회전된 패턴의 저니키 모멘트의 위상을 회전된 각도만큼 보정 후 이를 복원하여 원래 원본 패턴의 복원된 이미지와 차이를 유사도로 정의하고 그 유사도를 최소로 만드는 각도를 찾는 방법을 제안하였다. 실제 최솟값을 빠르게 탐색하기 위해 기울기 하강법을 이용하였다.

2.2 ART(Angular Radial Transform)

ART는 저니키 모멘트보다 향상된 패턴 표현 성능을 얻기 위해 MPEG-7에 제안된 복소 모멘트 기반 모양 기술자이다[10]. ART의 기저함수는 극좌표 상에서 방사 방향의 다항식이 코사인(cosine)함수로 정의되며, 차수가 n이고 반복수가 m인 ART 계수는 식 7과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} F_{nm} &= \langle V_{nm}(\rho,\theta), f(\rho,\theta) \rangle \\ &= \int_{0}^{2\pi}\int_{0}^{1} V_{nm}^{*}(\rho,\theta) f(\rho,\theta)\rho d\rho d\theta \end{aligned} \qquad (7)$$

여기서 $f(\rho,\theta)$은 극좌표 상의 이미지이고 ART 기저함수 $V_{nm}(\rho,\theta)$은 아래와 같다.

$$V_{nm}(\rho,\theta) = A_{n}(\theta) R_{m}(\rho) \qquad (8)$$

회전 불변의 특성을 얻기 위해서 회전 방향의 기저함수 $A_{m}(\theta)$은 지수함수를 사용하고,

$$A_{m}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp(jm\theta) \qquad (9)$$

방사 방향의 기저함수 $R_{m}(\rho)$은 코사인 함수를 사용한다.

$$R_{n}(\rho) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ \sqrt{2}\cos(\pi n\rho) & n \neq 0 \end{cases} \qquad (10)$$

아래 Fig. 2는 ART 기저함수의 일부를 보여준다.

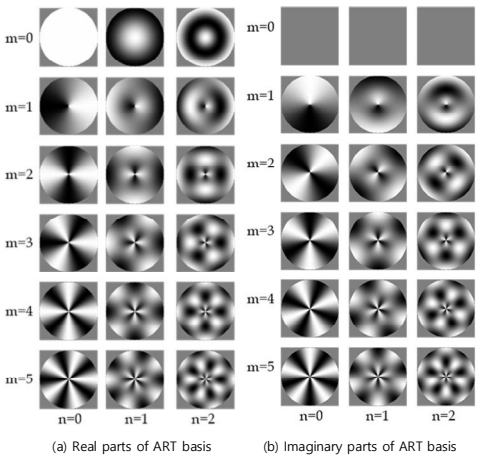


Fig. 2. The basis functions of ART

회전각 추정에는 기저함수의 회전 방향 복잡도가 영향을 주게 되는데, 저니키 모멘트의 경우 회전 방향 복잡도를 나타내는 반복수 m이 차수 n에 의해 제한되는 반면, ART는 차수 n과 반복수 m이 독립적으로 설정될 수 있어 회전각 추정에 더 효율적으로 기저함수들을 구성할 수 있다. 저니키 모멘트와 마찬가지로 ART 계수도 회전되었을 때 앞의 식6과 같이 위상차를 나타내게 된다.

Lee는 [10]에서 보다 정확한 회전각 추정을 위해 Revaud가 제안한 방법에 저니키 모멘트 대신 ART를 적용하는 방법을 제안하였다.

3. 제안된 회전각 추정 방법

직교(Cartesian)좌표 상의 회전(rotation)은 극(Polar)좌표로 변환을 하게 되면 각도 축에 대한 이동(shift)으로 표현된다[5]. 따라서 극좌표로 변환된 두 이미지를 각도 축에 대하여 이동하며 비교하여 최대 유사도를 갖는 위치를 찾으면 회전각 추정이 가능하다. Fig. 3은 극좌표 상에서 회전각 추정 방법에 대한 과정을 보여준다.

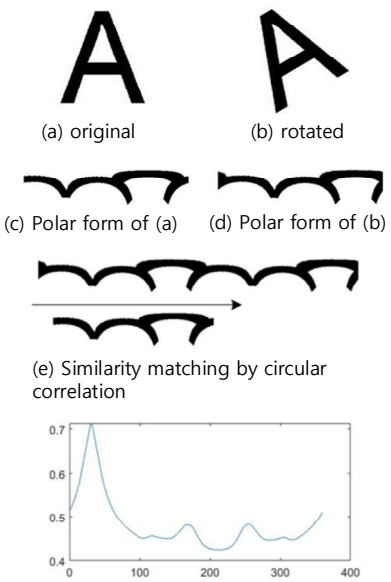


Fig. 3. Shift representation of rotation in polar coordinate

유사도 그래프를 더 높은 해상도로 보간(interpolation)하면 보다 정확한 회전각 추정이 가능하다.

회전 각도를 추정하기 위하여 극좌표로 변환된 두 패턴 영상을 각도 축 방향으로 이동하며 유사도를 계산하는 과정은 2차원 이미지의 비교로 많은 연산이 요구된다. 이 과정의 연산을 줄이기 위하여 Nagashima등은 [12]에서 극좌표로 변환된 이미지에서 선택된 일부 수평선들을 1D POC(Phase-only Correlation)를 이용해 유사도 곡선을 구하고 이들의 평균을 이용해 최종적으로 최대 유사도 위치를 찾는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 극좌표로 변환된 이미지를 반지름축 방향으로 수직 투영하여 1차원 투영 프로파일(projection profile)을 생성한 후, 2개의 1차원 프로파일에 대하여 각도축 방향으로 이동하며 유사도를 측정하는 방법을 제안한다. 추가로 이동하며 유사도를 측정하는 방법 대신 n개의 1차원 프로파일을 극좌표상에 원점을 중심으로 같은 간격의 각도를 갖는 n개의 벡터로 표현 후 전체 벡터의 합을 구하여 하나의 벡터를 구한 후 원본 패턴 영상의 벡터와 회전 패턴 영상의 벡터의 내적을 이용해 각도를 측정하는 방법을 제안한다. 아래 Fig. 4는 이 과정을 개략적으로 보여주고 있다.

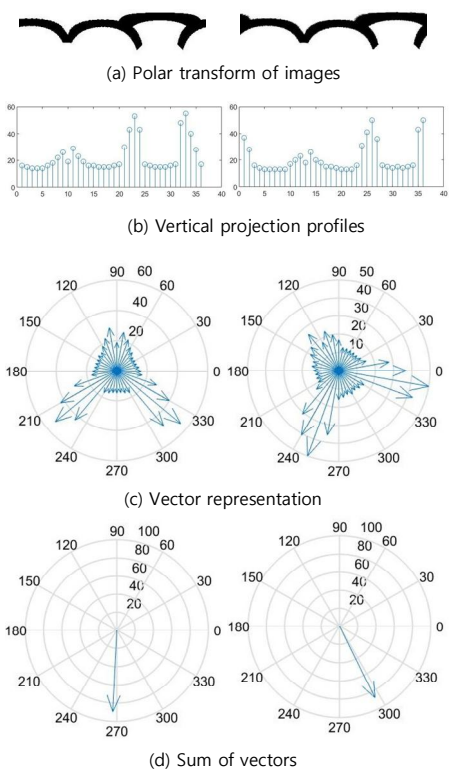


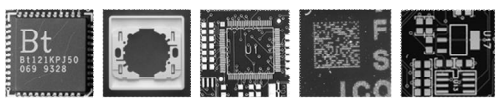
Fig. 4. Procedures of proposed methods

위 그림에서는 프로파일과 벡터 표현의 가독성을 높이기 위해 전체 프로파일 증 일부를 샘플링하여 도식화하였다.

4. 실험 및 결과

앞에서 설명한 회전각 추정을 방법들에 대한 성능 비교를 위해 MPEG-7 CE2 모양 데이터 세트에서 선택된 이진 패턴 영상 30장과 시각 검사용 대상을 촬영한 흑백 명암 영상 10장을 이용하여 실험 데이터 세트를 구성하였다. Fig. 5는 실험에 사용된 이진 패턴 영상과 흑백 명암 영상의 예를 보여주고 있다. 저니키 모멘트나 ART 그리고 제안된 방법 모두 극좌표를 사용하기 때문에 원점의 위치가 중요하게 작용한다. 따라서 이진 패턴 영상은 101x101 크기에 패턴의 무게 중심이 영상의 중앙에 오도록 변환하여 사용하였고, 흑백 명암 영상의 경우 영상의 중앙을 중점으로 최대 반지름을 갖는 원의 내부만 사용하였다.

(a) Binary pattern images



(b) Gray-scale images

Fig. 5. Sample images in dataset

성능 비교 실험은 Lee가 제안한 ART 계수의 위상 정보를 이용한 방법과 본 논문에서 제안한 극좌표 상의 1차원 투영 프로파일의 유사도를 비교하는 방법, 그리고 투영 프로파일의 벡터합을 이용하는 방법에 대하여 진행하였다. ART를 이용한 방법은 [10]에서 제안한 대로 차수 3, 반복수 10까지 총 40개의 ART 계수들을 이용하여 회전각을 추정하였다. 성능 측정은 실제 회전각과 추정된 회전각 사이의 RMS 오차를 식(11)과 같이 정의하여 비교하였다.

$$E=\sqrt{\frac{\sum_{i}^{N-1}(\theta_i-\theta'_i)^2}{N}} \tag{11}$$

θ_i와 θ'_i는 각각 실제 회전 각도와 추정된 회전 각도를 의미한다.

원본 영상을 3가지 각도로 회전한 영상에 대하여 회전각 추정 실험을 진행한 결과는 아래 Table 1에 정리되어 있다. A는 Lee가 제안한 방법, B와 C는 각각 논문에서 제안한 1차원 투영 프로파일을 이용한 방법과 투영 프로파일의 벡터합을 이용한 방법에 대한 RMS 오차를 보여준다.

Table 1. Comparison of the estimated error(RMS)

	A	B	C
binary pattern	0.412	0.423	0.553
gray image	0.615	0.622	0.647

A: Lee's method, B: Proposed method using projection profile, C: Proposed method using vector sum

ART 계수의 위상을 변경하며 복원 영상의 오류를 비교하여 최소 오류가 되는 각도를 찾는 방법의 경우 각도에 대한 오류 함수의 양자화 간격을 조정하여 높은 해상도로 추정이 가능하며, 투영 프로파일을 이용하는 방법은 보간(interpolation)을 이용하여 해상도를 높일 수 있지만, 벡터합을 이용하는 방법의 경우 해상도를 높이기 위해서는 극좌표로 변환할 때 각도축의 해상도를 직접적으로 높여주는 방법을 사용해야 하므로 정확도가 떨어지는 경향을 볼 수 있다. 또한 완전 대칭 패턴의 경우 합벡터의 크기가 0에 가까워져 오류가 커지는 것도 영향을 주고 있다.

추가로 회전각 추정에 걸리는 시간을 측정하여 비교하였다. 시간 측정은 속도 향상을 위하여 미리 계산된 참조 테이블값을 이용하는 방식이 아닌 수학적 정의에 따른 계산 시간을 측정하였다. Table 2는 각 방법을 이용한 회전각 추정 시간을 측정한 결과를 보여준다. 비교를 위하여 가장 빠른 방법에 대한 상대 시간을 표시하였다.

Table 2. Comparison of the estimation time.

	A	B	C
time	7.81	1.3	1.0

A: Lee's method, B: Proposed method using projection profile, C: Proposed method using vector sum

ART의 경우 복잡한 복소 기저함수를 이용하여 연산을 수행했기 때문에 계산 시간이 많이 소요된다. 이를 개선하기 위해 미리 기저함수를 계산하여 참조 테이블을 생성 후 사용하는 방법이 일반적으로 사용되지만, 40개의 2차원 복소 기저함수 값을 저장해 놓기 위한 메모리 저장공간이 필요하게 된다. 그에 반해 제안된 방법은 1도 간격으로 투영된 360개의 값을 저장하기 위한 공간만이 요구되어 진다. 아래 Table 3은 101x101 영상에 대한 회전각 추정을 위해 요구되는 메모리 공간을 비교한 것이다.

Table 3. memory requirement of each method.

	memory requirement (byte)
A	8(double)x101(w)x101(h)x2(complex)x40
B	4(int)x360x2
C	4(int)x360x2

A: Lee's method, B: Proposed method using projection profile, C: Proposed method using vector sum

요구되는 메모리의 경우 일반적인 PC등을 이용한 시스템 구현에서는 크게 문제가 되지 않지만 최근 활용이 증가하고 있는 마이크로 컨트롤러를 이용한 소형 임베디드 시스템으로의 구현에서는 고려해야 할 부분이 될 것이다.

5. 고찰 및 결론

본 논문에서는 패턴 영상의 회전각 추정을 위한 방법들을 소개하고 비교하였다. 회전 불변 모멘트는 극좌표 상에서 복소 기저함수를 이용하여 계산하며, 복소 모멘트의 절댓값이 회전에 무관한 성질을 이용하여 회전 불변 패턴 인식에 사용되는 반면, 회전된 패턴의 복소 모멘트는 회전각과 일치하는 위상차를 갖는 성질을 이용하면 패턴 영상의 회전각을 측정하는 것이 가능하다. 소수의 모멘트 값만을 이용하여 회전각을 이용하는 방법은 패턴 영상의 모든 정보를 이용하지 않고 저주파 영역의 정보만을 이용하여 회전각을 빠르게 추정하게 된다. 반면 영상의 모든 정보를 이용하여 회전각을 추정하기 위해서는 패턴 영상 자체를 회전하며 최소 오류를 찾는 방법을 사용할 수 있지만, 많은 연산이 필요하게 된다. 이때, 영상을 직교좌표에서 극좌표로 변환하게 되면 회전을 수평 이동으로 표현하는 것이 가능해져 최소 오류를 찾는 것을 단순화할 수 있다. 본 논문에서는 극좌표 상에서 거리축 방향으로 투영된 1차원 신호를 이용하여 최소 오류를 찾는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 복소 모멘트 기반의 방법에 비해 단순하여 적은 연산과 적은 메모리 자원을 요구하여 낮은 사양의 임베디드 기반 시스템에서도 적용이 가능하다. 실험을 통하여 제안된 방법이 복소 모멘트 기반의 방법과 유사한 추정 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

추가로 투영된 두 신호의 최소 정합 오류를 탐색하는 대신 투영 신호를 극좌표 상의 벡터로 표현하고 이들의 합을 구하여 하나의 방향벡터를 구한 후, 두 방향벡터의 내각을 계산하여 회전각을 추정하는 방법도 제안하였다. 벡터합을 이용하는 방법은 최소오차를 구하는 과정이 없어 보다 단순하게 회전각 추정이 가능하지만, 완전 대칭 패턴에 대한 오류가 큰 단점을 가지고 있다. 이 부분은 회전각 추정의 마지막 단계에서 선택할 수 있으므로 적용 대상의 특성에 따라 선택적 적용이 가능할 것이다.

회전각 측정에 있어 원점의 위치가 큰 영향을 주게 된다. 이진 패턴의 경우 무게 중심을 이용하거나 외접원을 이용하여 원점으로 설정하지만, 흑백 명암영상의 경우 단순히 영상의 중점을 기준으로 회전각을 측정하였다. 실제 환경에서는 회전된 영상의 중점을 일치시키는 정렬 작업이 선행되어야 하는 문제를 가지고 있다. 추후 흑백 명암영상에서 중점을 정렬하는 방법이나 중점 정렬 없이 회전각을 추정하는 방법에 관한 추가 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

[1] L. G. Brown. (1992). A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys, 24(4),* 325-376.
DOI : 10.1145/146370.146374

[2] B. Zitova & J. Flusser. (2003). Image registration methods: a servey. *Image and Vision Computing, 21(11),* 977-100.
DOI : 10.1016/S0262-8856(03)00137-9

[3] M. Goljan. (2018, Jan). Blind Detection of Image Rotation and Angle Estimation. *Electronic Imaging, Media Watermarking, Security, and Forensics 2018* (pp. 158-1-158-10). Burlingame : Society for Imaging Science and Technology.

[4] E. Dicke, A. Wacher & W. Nahm. (2017). Estimation of the interpolation error of a

three-step rotation algorithm using recorded images with rotated test pattern as ground truth. *Current Directions in Biomedical Engineering, 3(2)*, 555-558.
DOI : 10.1515/cdbme-2017-0186

[5] C. G. Cao & Q. Quyang. (2019). 2D Rotation-Angle Measurement Utilizing Least Iterative Region Segmenttion. *SENSORS, 19(7)*, 1634.
DOI : 10.3390/s19071634

[6] R. J. Prokop & A. P. Reeves. (1992). A survey of moment-based techniques for unoccluded object representation and recognition. *Graphical Models and Image Processing, 54(5)*, 438-460.
DOI : 10.1016/1049-9652(92)90027-U

[7] W. H. Tsai & S. L. Chou. (1991). Detection of generalized principal axes in rotationally symmetric shapes. *Pattern Recognition, 24(2)*, 95-104.
DOI : 10.1016/0031-3203(91)90080-O

[8] S. Khotanzad & Y. H. Hong. (1990). Invariant image recognition by Zernike moments. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12(5)*, 489-498.
DOI : 10.1109/34.55109

[9] W. Y. Kim & Y. S. Kim. (1999). Robust Rotation Angle Estimator. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21(8)*, 768-773.
DOI : 10.1109/34.784290

[10] J. M. Lee & W. Y. Kim. (2012). A Comparative Study of Rotation Angle Estimation Methods Based on Complex Moments. *IEICE Transactions on Information and Systems, E95.D(1)*, 1485-1493.
DOI : 10.1587/transinf.E95.D.1485

[11] J. Revaud, G. Lavoue & A. Baskurt. (2008). Improving Zernike Moments Comparison for Optimal Similarity and Rotation Angle Retrieval, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 31(4)*, 627-633.
DOI : 10.1109/TPAMI.2008.115

[12] S. Nagashima, K. Ito, H. Ishii & K. Kobayashi. (2007, August). A high-accuracy rotation estimation algorithm based on 1D phase-only correlation. *ICIAR 2007, Lecture Notes in Computer Science, 4633*, 210-221.
DOI : 10.1007/978-3-540-74260-9_19

최 민 석(Minseok Choi) [정회원]

· 1996년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
· 1998년 8월 : 한양대학교 전자공학과(공학석사)
· 2004년 8월 : 한양대학교 전자공학과(공학박사)
· 2012년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 지능정보융합학부 부교수
· 관심분야 : 영상처리, 머신비전, 정보시스템
· E-Mail : mschoi@syu.ac.kr