

논문 2010-47SP-1-13

잡음 영상에서 국부 영역의 반복적인 위상 상관도를 이용한 부화소 이동량 추정방법

(Subpixel Shift Estimation in Noisy Image Using Iterative Phase
Correlation of A Selected Local Region)

하 호 건*, 장 인 수*, 고 경 우*, 하 영 호**

(Ho-Gun Ha, In-Su Jang, Kyung-Woo Ko, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 원 영상에서 특정한 국부 영역을 선택하고 선택된 국부 영역에 반복적인 위상 상관도를 수행함으로써 잡음을 가지고 있는 영상에서 정확한 부화소(subpixel) 이동량을 추정하는 방법을 제안한다. 기존의 방법은 영상 전체를 이용해 위상 상관도를 수행 한 후 포물선, sinc 같은 함수 보간을 통해 간접적으로 부화소 이동량을 추정하였다. 이 같은 추정방법은 정확하나 백색 가우시안 잡음(additive white gaussian noise)이나 에일리어싱(aliasing)과 같은 잡음이 영상에 존재하면 정확한 부화소 이동량 추정이 어렵다. 그래서 영상 전체를 이용하기 보다는 잡음이 적은 국부 영역을 선택하여 이를 이용해 위상 상관도를 수행하고 부화소 이동량을 계산할 때 기존의 함수의 보간을 사용하지 않고 반복적으로 위상 상관도를 수행함으로써 잡음에 강한 부화소 이동량을 추정 방법을 제안하였다. 또한 위상 상관도 함수의 분석을 통해 위상 상관도 반복횟수를 줄이는 방법도 제안하였다. 실험을 통해 제안한 방법과 기존의 방법으로 추정한 부화소 이동량의 오차를 비교하고 초해상도 영상을 만들어 봄으로써 제안한 방법이 잡음이 있는 조건에서 더 정확한 부화소 이동량 추정성능을 보여줄 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a subpixel shift estimation method using phase correlation with a local region for the registration of noisy images. Phase correlation is commonly used to estimate the subpixel shift between images, which is derived from analyzing shifted and downsampled images. However, when the images are affected by additive white Gaussian noise and aliasing artifacts, the estimation error is increased. Thus, instead of using the whole image, the proposed method uses a specific local region that is less affect by noises. In addition, to improve the estimation accuracy, iterative phase correlation is applied between selected local regions rather than using a fitting function. the restricted range is determined by analyzing the maximum peak and the two adjacent values of the inverse Fourier transform of the normalized cross power spectrum. In the experiments, the proposed method shows higher accuracy in registering noisy images than the other methods. Thus, the edge-sharpness and clearness in the super-resolved image is also improved.

Keywords : image registration, subpixel shift esitmaton, phase correlation, super resolution

I. 서 론

영상의 정합은 시간 또는 시점을 달리하여 획득한 여러 장의 영상을 합쳐 하나의 영상으로 만드는 영상처리 기술을 말한다. 이러한 영상의 정합은 기본적인 영상처리 기술로서 의학 영상, 초해상도 영상, 위성 영상, 비디오 감시카메라 영상 등 많은 분야에서 이용되어진다^[1].

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National University)

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로
한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.
20090079859).

※ 이 논문(저서)은(는) 2008년도 경북대학교 학술연구
비에 의하여 연구되었음

접수일자: 2009년7월27일, 수정완료일: 2009년12월28일

최근에는 초해상도 영상과 같이 고화질 영상의 정합을 위해 더 세밀한 부화소(subpixel)의 정확도를 가진 영상의 이동량 추정 방법들이 요구된다. 이러한 영상의 부화소 이동량을 추정하는 방법에는 크게 두 가지 방법이 있다. 먼저 직접적인 방법으로 영상 보간법이 있다^[2~3]. 보간법을 이용해서 직접 영상을 이동시켜서 기준이 되는 영상과 비교하여 평균제곱오차(MSE)가 가장 적은 이동량을 추정한다. 그러나 높은 정확도를 얻기 위해서 많은 계산량을 필요로 한다. 간접적인 방법으로는 푸리에 변환을 통해 얻은 위상 상관도(phase correlation)를 이용하는 방법이 있다^[4~5]. 위상 상관도는 두 영상의 상관관계를 도출해서 이동량을 추정한다. 이러한 위상 상관도를 이용한 영상의 부화소 이동량 추정 방법은 다시 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 주파수 영역의 정규화된 상관 파워 스펙트럼(normalized cross power spectrum)을 이용해서 구하는 방법과 정규화된 상관 파워 스펙트럼의 역 푸리에 변환을 이용해서 구하는 방법이 있다. 우선 주파수 영역에서 직접 구하는 방법은 복소수의 위상 부분이 0이 되는 평면을 구한 후 그 평면의 기울기를 구해서 부화소 이동량을 추정한다. 또는 위상 차이 행렬의 반복되는 주기를 계산함으로써 부화소 이동량 추정이 가능하다^[6]. 역 푸리에 변환을 이용해서 구하는 방법은 역 푸리에 변환된 위상 상관도 행렬의 계수가 1을 가진다는 성질을 이용해서 행렬의 특이값 분해를 통해 부화소 이동량을 추정한다^[7]. 또한 포물선(parabola), 가우시안(Gaussian), sinc 함수, 그리고 esinc 함수와 같은 보간 함수를 통해서도 부화소 이동량을 추정할 수 있다. 이 중 esinc 함수는 sinc 함수에 가우시안 가중치를 곱한 새로운 함수로 가우시안 잡음에 강한 부화소 이동량을 추정할 수 있다^[8~9]. 이와 같이 최근에는 바이스펙트럼(bispectrum)이나 상관 마스크(correlation mask)를 이용해 영상에 여러 잡음이 존재하는 영상에서 정확하게 부화소 이동량을 추정하는 방법에 대하여 연구되고 있다^[9~11,14].

본 논문에서는 잡음에 강한 부화소의 이동량을 추정하는 방법을 제시하였다. 먼저 원 영상 전체를 이용하지 않고 영상의 분석을 통해 에일리어싱이나 백색 가우시안 잡음이 보다 적게 분포한 특정한 국부 영상을 이용하였다. 그리고 선택된 국부 영상을 반복적으로 이동시켜 위상 상관도의 크기 값을 비교함으로써 부화소 이동량을 추정하였다. 또한 부화소 이동량에 따른 위상 상관도 함수 분석을 통해 국부 영역을 이동시키는 범위를

제한하여 반복 횟수를 줄였다. 그리고 작은 크기의 영상을 이용할 때 발생하는 오차를 고려하고 이를 보상하기 위해 윈도우(windowing)와 흐림 불변의 위상 상관도(blur invariant phase correlation)를 이용하였다. 실험에서는 각각의 부화소 이동된 영상을 만들었고 이를 기존의 방법과 제안한 방법을 통해 부화소 이동량을 추정하고 오차를 계산하였다. 그리고 네 장의 서로 다른 부화소 이동된 영상을 이용하여 초해상도 영상을 만들어 부화소 이동 추정의 성능을 비교하였다.

본 논문은 II장에서 기존의 부화소 이동량 추정 방법과 문제점에 대해서 살펴보고 III장에서는 영상의 국부 영역을 선택하고 이를 이용하여 영상간의 부화소 이동량 추정방법을 제안한다. IV장에서는 실험을 통해 결과를 비교 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 부화소 이동량 추정 방법

1. 위상 상관도

위상 상관도 방법은 공간 영역에서 상관함수를 이용해 두 영상의 상관관계를 도출해서 이동량을 추정한다. 그러나 일반적으로 상관관계를 주파수 영역으로 변환시켜 푸리에 변환의 이동성질을 이용하여 좀 더 간단히 추정한다. 식 (1)은 주파수 영역에서 상관관계이다.

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) \exp(-i(ux_0 + vy_0)) \quad (1)$$

여기서, F_i 는 푸리에 변환된 각 영상의 나타내고, (x_0, y_0) 는 두 영상간 이동량의 차이를 나타낸다. 그리고 평균 화소값의 변화나 광원의 변화에 강한 추정을 하기 위해서 식 (2)와 같이 정규화된 상관 파워 스펙트럼(NCPS)을 구한다.

$$P(u, v) = \frac{F_2(u, v) F_1^*(u, v)}{|F_1(u, v) F_1^*(u, v)|} \quad (2)$$

$$= \exp(-i(ux_0 + vy_0))$$

여기서, P 는 정규화된 상관 파워 스펙트럼을 나타내고 *는 공액 복소수를 나타낸다. NCPS를 다시 역 푸리에 변환을 통해 공간 영역으로 변환시키면 식 (3)으로 표현된다. 즉, 두 장의 영상 간 이동량을 나타내는 위치에서 가장 큰 값을 가지는 단위 임펄스(impulse) 함수로 표현이 됨을 알 수 있다.

$$c(x, y) = F^{-1}(P(u, v)) \tag{3}$$

$$= \delta(x - x_0, y - y_0)$$

여기서, F^{-1} 은 역 푸리에 변환을 나타내고 δ 는 단위 임펄스 함수를 나타낸다.

2. 기존의 부화소 이동량 추정방법

영상간의 부화소 이동량을 추정할 때 위에서 설명한 위상 상관도를 이용한다. 그러나 정수 화소의 이동량을 추정할 때처럼 역 푸리에 변환된 NCPS가 이동량을 나타내는 위치에서 단위 임펄스 함수로 나타나지 않는다. 그래서 기존의 부화소 이동량 추정 방법에서는 부화소 이동된 영상이 다운샘플링(downsampling)을 통해서 생성되었다고 새롭게 가정하였다^[8]. 즉, 먼저 원 영상을 정수 화소만큼 이동시킨 다음 다운샘플링 한다. 그러면 영상은 정수 화소만큼 옮긴 이동량에 다운샘플링 상수의 비율만큼 나누어진 분수값의 부화소 이동량을 가진 영상이 된다. 그리고 이렇게 만들어진 두 장의 영상을 위상 상관도의 입력 영상으로 하여 NCPS를 구한 다음 다시 역 푸리에 변환시키면 2차원 dirichlet 함수로 나타나게 된다. 그러나 실제로 영상간의 부화소 이동량을 추정할 때는 이론적인 계산을 통해 얻은 결과인 dirichlet 함수를 사용하지 않고 근사화된 함수인 sinc 함수를 사용한다. Dirichlet 함수를 근사화한 sinc 함수를 식 (4)로 나타내었다.

$$c(x, y) \approx \frac{\sin(\pi(Mx - x_0))}{\pi(Mx - x_0)} \cdot \frac{\sin(\pi(Ny - y_0))}{\pi(Ny - y_0)} \tag{4}$$

여기서 M 은 영상의 너비 방향으로의 다운샘플링 상수, N 은 영상의 높이 방향으로의 다운샘플링 상수를 나타낸다. Sinc 함수로 실제 영상간의 부화소 이동량을 계산하는 방법은 NCPS의 역 푸리에 변환에서 가장 큰 값을 가지는 위치에서 주변의 큰 값 3개를 가지고 보간을 이용해서 계산한다. 다시 말해, 먼저 선택된 3개의 값을 모두 만족하는 sinc 함수를 추정하고, 이 함수의 가장 큰 값이 나타내는 위치를 찾으면 이것이 우리가 추정하고자 하는 두 영상간의 부화소 이동량이 된다.

3. 기존의 부화소 이동량 추정방법의 문제점

보간을 통해 sinc 함수로 영상의 부화소 이동량을 계산하는 방법은 잡음이 존재하지 않는 이상적인 영상에

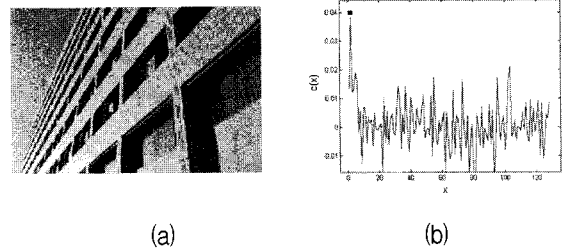


그림 1. (a) 에일리어싱과 백색 가우시안 잡음을 포함한 영상 (b) 에일리어싱과 백색 가우시안 잡음의 영향을 포함한 영상의 NCPS의 역 푸리에 변환

Fig. 1. (a) An image affected by AWGN and aliasing (b) Inverse Fourier transform of the normalized cross power spectrum affected by AWGN and aliasing.

대해서는 빠르고 정확한 추정을 할 수 있다. 그러나 그림 1에서처럼 백색 가우시안 잡음이나 에일리어싱과 같은 잡음이 존재하는 영상에서는 정확한 계산을 하지 못한다. 왜냐하면 잡음의 영향으로 오차를 포함한 NCPS의 역 푸리에 변환 값을 이용하여 함수의 보간이 수행되기 때문이다.

III. 제안한 부화소 이동량 추정방법

잡음에 강한 영상의 부화소 이동량을 추정하기 위해 먼저 영상 분석을 통해 영상에서 상대적으로 잡음이 적게 존재하는 특정 국부 영상을 선택하고 이를 이용하여 반복적인 위상 상관도를 수행하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 크게 두 단계로 나누어지는데, 첫 번째 전체 영상에서 국부 영상을 선택한다. 두 번째 선택된 국부 영상의 반복적인 위상 상관도를 통해서 영상의 부화소 이동량을 계산한다.

1. 영상에서 국부 영역 선택

본 논문에서는 영상 전체를 사용하지 않고 영상의 특정 국부영역만을 이용하여 잡음이 존재하는 영상에서 부화소 이동량을 정확하게 추정하는 방법을 제안한다. 그래서 영상의 국부 영역을 선택하는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 획득된 영상에서는 백색 가우시안 잡음과 에일리어싱이 존재한다. 백색 가우시안 잡음은 영상 전체에 고르게 분포하는 것과 달리 에일리어싱은 지역적으로 존재한다. 즉, 에일리어싱은 영상의 고주파수 성분 존재하는 부분에서 발생하기 때문에 적절한 국부

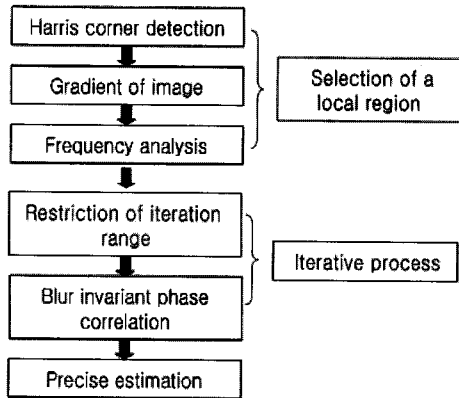


그림 2. 제안한 방법의 흐름도
Fig. 2. Flow of the proposed method.

영역을 선택한다면 에일리어싱 잡음의 영향을 줄일 수 있다. 또한 영상의 밝기 변화(intensity variation)도 국부 영역의 선택에 있어 중요한 요소가 된다. 그림 3에서 영상의 밝기 변화가 없는 하늘 영역을 국부 영역으로 선택한다면 영상간의 부화소 이동량을 추정할 수가 없다. 또한 하늘 영역은 오직 백색 가우시안 잡음만 가지고 있어 전체 영상을 가지고 위상 상관도를 수행하는데 있어 부화소 이동량을 추정오차만 크게 한다.

그러므로 영상에서 이러한 밝기 변화가 없는 부분을 제외시킨 영상을 이용해 위상 상관도를 수행 한다면 전체 영상을 이용하는 것보다 상대적으로 더 적은 백색 가우시안 잡음의 영향을 받는 것과 같다. 그래서 제안하는 방법에서는 에일리어싱을 피할 수 있고 밝기 변화가 없는 부분이 거의 없는 특정 국부영역을 선택하여 이를 이용해 부화소 이동량을 추정하였다.

가. 국부 영역 선택 방법

국부 영역을 선택하기 위해서 그림 2에서 나타난 세 가지의 과정을 거치게 된다. 먼저 첫 번째, 영상의 밝기가 변화하는 부분 즉, 에지를 찾고 이런 에지가 많은 부분을 국부 영역으로 선택한다. 그러나 에지는 한 가지의 방향성만을 가지고 있기 때문에 에지가 생성되는 방향에 따라서 영상간의 부화소 이동량을 추정하는데 있어서 한계를 가지게 된다. 예로 수직방향의 에지에서는 수평방향의 이동량을 추정할 수 없다. 그래서 일반적으로 널리 쓰여지고 있는 코너 추정방법인 Harris corner detection을 이용하여 여러 방향의 에지들이 만나 형성하는 코너를 찾아 이곳의 위치를 기준으로 하여 국부 영역을 선택한다. 두 번째, 영상에서 코너로 찾은 위치에서 영상의 밝기 변화도(gradient) 크기를 비교한다.

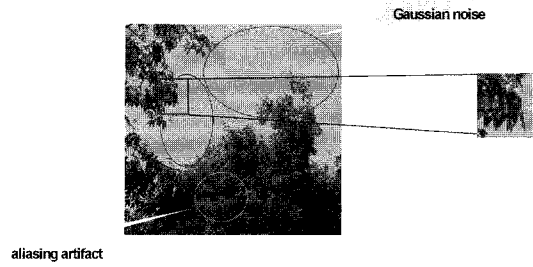


그림 3. 영상에서 국부 영역의 선택
Fig. 3. Selecting a local region of an image.

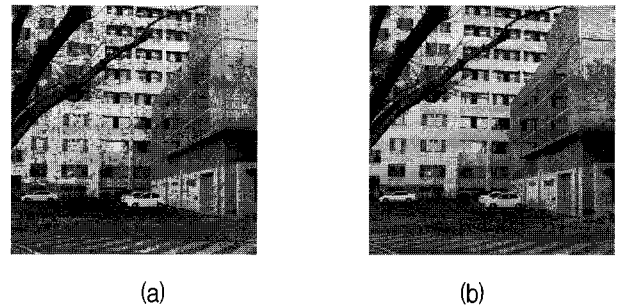


그림 4. (a) 백색 가우시안 잡음이 포함된 영상에서 추정된 코너 (b) 각 코너에서 밝기 변화도의 비교를 통해 선택되어진 코너
Fig. 4. (a) Detected corners of the image with AWGN, (b) selected corners of candidates comparing the magnitude of gradient.

영상에 백색 가우시안 잡음이 존재하면 이 잡음의 영향으로 영상에서 밝기 변화가 없는 평평한 영역에서 임펄스(impulse) 잡음의 효과를 가지게 된다. 그래서 Harris corner detection을 통해 실제로는 코너가 아닌데도 코너로 추정되어지는 오류가 발생한다. 이런 오류를 방지하기 위해 canny edge detection을 이용한 영상의 밝기 변화도를 구한다. canny edge detection은 백색 가우시안 잡음의 무관하게 영상의 밝기 변화도를 구하기 때문에 각 코너에서 밝기 변화도를 비교하여 큰 값을 가지는 코너를 국부영역의 후보군으로 선택하면 평평한 영역에서 선택되는 코너를 제거 할 수 있다. 또한 영상에서 밝기 변화도가 큰 코너를 선택하게 되면 주변 잡음에 의해 영상의 밝기 정보가 왜곡되는 확률이 낮음을 나타내기 때문에 더 잡음에 강한 영상간의 부화소 이동량을 추정할 수 있다. 그림 4의 (a)는 백색 가우시안 잡음이 존재한 영상에서 Harris corner detection으로 추정된 코너를 나타내고 있고 (b)는 추정된 코너 위치에서 영상 밝기의 변화량을 비교해서 큰 순서대로 20개의 코너들의 위치를 나타낸 것이다. 그리고 이들은 최종 단계인 주파수 분석의 후보군으로 사용되어진다. 마치

막으로 세 번째, Harris corner detection과 영상의 밝기 변화도를 이용해서 찾은 코너들의 위치에서 주파수 성분 분석을 통해 최적의 국부 영역을 선택한다. 코너 위치에서 국부 영역의 주파수 성분 분석은 앞서 후보군으로 선택되어진 코너 위치를 중심으로 32x32 크기의 국부 영역을 잘라서 푸리에 변환을 한다. 주파수 영역에서 원점 주변에는 영상의 저주파 성분이 분포하고 바깥으로 갈수록 고주파 성분이 분포하게 된다.

저주파 성분은 영상 전체에 고르게 분포하는 공통의 정보이기 때문에 영상의 국부 영역을 선택의 요소로 이용할 수 없다. 그리고 높은 고주파 성분은 가우시안 잡음이나 에일리어싱 잡음에 영향을 받기 쉬워 이러한 성분을 가지는 국부 영상을 이용해서는 정확한 영상의 부화소 이동량 추정을 할 수 없다. 그래서 영상에서 매우 낮은 저주파 성분과 높은 고주파를 제외한 나머지의 주파수 성분을 이용하여 최종적인 국부 영역을 선택한다. 이런 계산을 하기 위해서 먼저 주파수 영역의 직교 좌표를 극 좌표로 식 (5)을 통하여 변환한다.

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta \\ r^2 &= x^2 + y^2 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서, x, y 와는 직교 좌표의 변수를 나타내고 r, θ 는 극 좌표계의 변수를 나타낸다. 그리고 식 (6)의 주파수 분석을 통해서 K 의 값이 가장 큰 영역을 최종 국부 영역으로 선택한다.

$$K = \int_{r/10}^{r/2} \int_0^{2\pi} |F(r, \theta)| d\theta dr \tag{6}$$

여기서, r 는 반지름을 나타내고 θ 는 원점과 이루는 각도를 나타내고 F 는 푸리에 변환된 영상을 나타낸다.

2. 반복적인 위상상관도를 통한 부화소 이동량 추정

선택된 국부 영역에 기존의 부화소 이동량 추정 방법인 sinc함수 보간을 사용하면 크기가 작은 국부 영역을 이용함에 따라 dirichlet 함수를 sinc 함수로 근사화 시킬 때의 가정을 위반해서 추정의 오차가 발생한다. 또한 선택된 국부 영역에도 여전히 백색 가우시안 잡음이 존재하기 때문에 잡음에 따른 보간의 오차가 발생한다. 그래서 보간 함수를 사용하지 않고 크기가 작은 국부 영역을 이용해서도 정확하게 부화소 이동량을 추정할 수 있는 반복적인 위상 상관도 방법을 제안하였다. 이 방법은 일정한 간격으로 직접 국부영역을 이동시켜 위

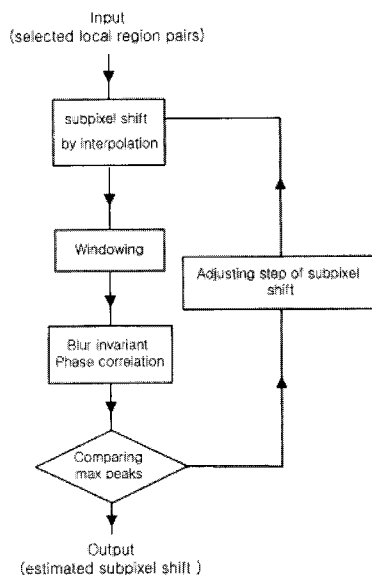


그림 5. 반복적인 위상 상관도의 흐름도
Fig. 5. Flow chart of iterative phase correlation.

상 상관도 수행하여 크기를 비교함으로써 부화소 이동량을 추정한다. 위상 상관도의 수행결과인 NCPS의 역 푸리에 변환의 가장 큰 값은 보간에도 사용되지만 두 영상의 일치성도 나타내기 때문에 크기가 클수록 두 국부 영상이 더 일치함을 나타낸다. 그래서 함수 보간없이 단지 NCPS의 역푸리에 변환의 가장 큰 값의 비교만을 통해 부화소 이동량을 추정할 수 있다. 제안한 방법을 그림 5의 흐름도로 나타내었다. 그러나 반복적인 위상 상관도 방법은 두 가지의 요소를 고려해야 한다. 먼저 반복적인 수행과정으로 작은 크기의 영상을 사용하더라도 많은 계산량을 필요로 하기 때문에 반복 수행 횟수를 줄여야 한다. 또한 작은 국부 영상을 사용함에 따라 경계 조건, 흐림(blur)효과 그리고 이산계산(discrete computation)와 같은 오차를 고려하고 이를 보상하기 위한 작업을 필요로 한다.

가. 반복적인 위상 상관도 수행 영역의 제한

제안한 방법은 선형보간(bilinear interpolation)을 이용하여 반복적으로 국부 영역을 일정 간격의 부화소 만큼 이동시키고 위상 상관도를 수행한다. 그래서 많은 계산을 필요로 한다. 이러한 계산을 줄이기 위해 반복적인 위상 상관도를 수행하는 횟수를 줄이는 것이 필요하다. 본 논문에서는 반복적인 위상 상관도 횟수를 줄이기 위해 NCPS의 역 푸리에 변환의 함수를 분석하였다. 그림 6은 NCPS의 역 푸리에 변환 함수의 모양 변화를 나타내고 있다. 각 그림을 분석해 보면, 최고값을

나타내는 위치에서 좌우 값의 크기를 비교함으로써 대략적인 부화소의 이동량과 반복 위상 상관도의 범위를 제한할 수가 있다. 예를 들어 최대값의 오른쪽의 값이 왼쪽보다 크면 반복 수행할 위상 상관도의 범위는 최대값의 위치에서 0.5 화소 큰 범위가 된다. 즉, 영상을 이동시키는 범위를 0.5 화소 이내로 줄일 수 있다. 이를 식 (7)로 나타내었다. 또한 그림 6에서 잡음이 커지더라도 일정한 형태를 유지하기 때문에 잡음이 존재하는 영상에 대하여도 식 (7)은 성립한다.

$$d = \begin{cases} c_i < d < c_i + 0.5 & \text{if } f(c_{i-1}) < f(c_{i+1}) \\ c_i - 0.5 < d < c_i & \text{if } f(c_{i-1}) > f(c_{i+1}) \end{cases} \quad (7)$$

여기서 d 는 반복적인 위상 상관도를 수행해야 할 범위를 나타내고, c_i 는 NCPS의 역 푸리에 변환의 함수의 최대값을 나타내는 위치이고, c_{i+1} , c_{i-1} 는 각각 NCPS의 역 푸리에 변환의 함수의 최대값 좌우의 위치를 나타내고, f 은 NCPS의 역 푸리에 변환된 함수를 나타낸다. 더욱이 NCPS의 역 푸리에 변환된 함수는 또한 지역 최소값(local minima)을 가지지 않기 때문에 직접 국부 영역을 이동시키는 값을 대략적으로 이동시켜서 찾은 값 주변에서 다시 세밀하게 이동시켜서 부화소를 찾는 조세방법(coarse to fine)을 사용하여 더 많은 반복 수행 횟수를 줄일 수가 있다. 그림 7에처럼 처음 수행해서 얻은 결과 값 중 큰 값 주변에서 두 번째 수행을 하고 다시 반복해서 세 번째 수행을 한다.

나. 흐림 불변 위상 상관도

작은 국부 영상을 가지고 처리하기 때문에 이에 따른 부화소 이동의 경계오차, 선형보간에 의한 흐림효과 그리고 이산 계산의 오차를 모두 고려해 주어야 한다.

왜냐하면 큰 영상을 사용하는 것과 달리 작은 오차도 크기가 작은 국부 영역의 위상 상관도의 결과에 큰 영향을 미치기 때문이다. 먼저 국부 영상의 직접 이동에 따라 이동 후에 남게 되는 영상의 경계 효과를 없애야 한다. 그래서 이동되어지는 국부영상을 이동방향과 이동 후에 크기를 고려해서 좀 더 크게 잘라야 준다. 또한 영상이 전체적으로 흐릿해지는 흐림 효과도 고려해 주어야 한다. 이것은 국부 영상이 부화소 이동시 선형 보간과 윈도우(windowing)을 통해 발생된다. 윈도우는 전체 영상과 비교해 볼 때 국부 영상은 2π 주기에 너무 적은 정보량을 가져 이산푸리에 변환(DFT) 수행 시에

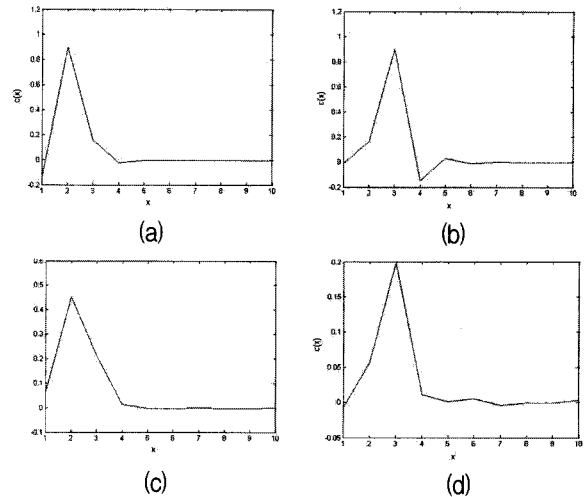


그림 6. 두 영상간 부화소 이동량과 잡음에 따른 NCPS의 역 푸리에 변환 함수 (a) 잡음이 없고 2.25 화소 이동된 영상 (b) 잡음이 없고 2.75 화소 이동된 영상 (c) 백색 가우시안 잡음이 0.01 있고 2.25 화소 이동된 영상 (d) 백색 가우시안 잡음이 0.01 있고 2.75 화소 이동된 영상

Fig. 6. The two adjacent values of the maximum peak according to subpixel shift and AWGN (a) noise free and 2.25 pixel shifted image (b) noise free and 2.75 pixel shifted image (c) AWGN (S.D.= 0.01) and 2.25 pixel shifted image (d) AWGN (S.D.= 0.01) and 2.75 pixel.

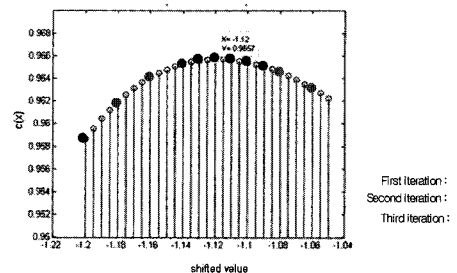


그림 7. 조세방법을 이용한 반복적인 위상 상관도 수행
Fig. 7. Iterative phase correlation with coarse to fine method.

이산 계산의 오차를 보상하기 위한 것이다. 또한 흐림 효과는 위상 상관도 결과에 영향을 미치기 때문에 일반적인 위상 상관도가 아닌 흐림 불변의 위상 상관도(blur invariant phase correlation)를 수행한다^[13]. 흐림 불변의 위상 상관도는 영상에 있어서 흐림 효과를 흐리지 않은 영상과 대칭적인 저역 통과 필터의 컨볼루션(convolution)으로 가정하였고 식 (8)로 나타내었다.

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) \quad (8)$$

여기서 f 는 영상을 의미하고, h 는 대칭적인 저역통과

함수를 의미한다. 그리고 컨벌루션을 한 흐림영상의 NCPS의 짝수승을 구하면 식 (9)로 나타난다.

$$\begin{aligned}
 S_n(u,v) &= \left(\frac{G_2(u,v)G_1^*(u,v)}{G_1(u,v)G_1^*(u,v)} \right)^{2n} \\
 &= e^{-i2n\phi_{g_2}(u,v)} e^{-i2n\phi_{g_1}(u,v)} \\
 &= e^{-i2n\phi_{p_2}(u,v)} e^{-i2n\phi_{p_1}(u,v)} \\
 &= e^{-i2n(ux_0 + vy_0)}
 \end{aligned} \tag{9}$$

여기서 (x,y) 는 두 영상간 이동량을 나타내고 ϕ_i 는 함수의 위상을 나타낸다. 대칭적인 형태의 저역 통과 필터의 위상은 주파수 영역에서 0 또는 π 를 갖기 때문에 짝수승을 해주면 위상의 값은 없어지고 실수값만을 가지게 된다. 이런 성질을 이용하면 흐림 효과에 영향을 받지 않고 무관하게 위상 상관도를 수행할 수가 있다.

III. 실험

실험에서는 국부영역의 크기를 조절해 가며 위상 상관도를 수행하여 적절한 국부 영역의 크기를 결정하였다. 그리고 캐논 10D 카메라로 획득한 영상을 가지고 부화소 이동된 가상의 영상을 만들어서 기존의 방법으로 추정된 영상의 부화소 이동량과 제안한 방법으로 추정된 영상의 부화소 이동량의 추정 오차를 비교해 보았다. 마지막으로 위에서 추정된 영상을 가지고 초해상도 영상을 만들어 결과 영상을 비교해 보았다.

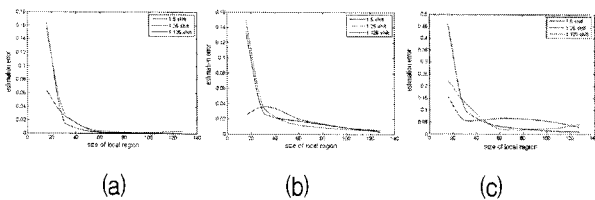


그림 8. 잡음과 영상의 크기에 따른 부화소 이동량 추정 오차 (a) 잡음이 없는 영상에서 부화소 이동량 추정 오차 (b) 백색 가우시안 잡음이 0.001 가진 영상에서 부화소 이동량 추정 오차 (c) 백색 가우시안 잡음이 0.005을 가진 영상에서 부화소 이동량 추정 오차.

Fig. 8. Average estimation error depending on noise and size of an image (a) estimation error in noise free (b) estimation error in AWGN (S.D=0.001) (c) estimation error in AWGN (S.D=0.005).

1. 국부 영역의 크기 결정

그림 8에서 나타난 크기에 따른 부화소 이동량 추정 오차를 보게 되면 영상의 크기가 20x20에서 40x40사이에서 급격히 증가함을 알 수 있다. 그래서 중간정도의 크기인 32x32로 국부 영역의 크기를 결정하였다. 그리고 이러한 추세는 영상에서 백색 가우시안 잡음이 증가하더라도 변함없이 그대로 유지한다는 것을 알 수 있다. 그래서 백색 가우시안 잡음의 크기에 상관없이 일정한 크기의 국부 영역을 이용해서 영상의 부화소 이동량을 추정할 수가 있다.

2. 추정된 부화소 이동량 추정오차

실제로 카메라로 획득한 여러 영상을 가지고 다운샘플링을 통해 가상의 부화소 이동된 영상을 만들었다. 영상의 크기는 128x128 화소이고 기준이 되는 첫 번째 영상을 기준으로 x 와 y 축으로 각각 1.5 화소, 1.25 화소 그리고 1.125 화소 이동된 3장의 영상을 만들었다. 그리고 백색 가우시안 잡음을 다르게 주어서 잡음에 따른 추정 오차도 비교하였다. 이 때 백색 가우시안 잡음의 평균은 0으로 두고 표준편차의 값을 0, 0.001, 0.003, 0.005, 0.01로 5단계로 나누어 다르게 주었다. 실험결과 추정된 부화소 이동량의 평균오차는 표 1로 나타내었다.

3. 실험을 통한 초해상도 영상 획득

앞의 실험을 위해 생성한 가상의 부화소 이동된 4장의 영상을 가지고 추정 성능을 확인하기 위해 초해상도

표 1. 백색 가우시안 잡음과 에일리어싱이 존재하는 영상에서 부화소 이동량 추정방법 추정량의 오차 평균

Table 1. Average estimate error of various subpixel estimations in AWGN and aliasing.

S.D. of AWGN	direction	parabola	sinc	esinc	proposed method
0	x	0.321	0.505	0.071	0.019
	y	0.291	0.522	0.049	0.056
0.001	x	0.221	0.490	0.098	0.091
	y	0.199	0.658	0.079	0.055
0.003	x	0.265	0.461	0.144	0.105
	y	0.146	0.448	0.165	0.125
0.005	x	0.351	0.446	0.192	0.125
	y	0.319	0.341	0.174	0.091
0.01	x	0.306	0.440	0.233	0.098
	y	0.274	0.466	0.265	0.191

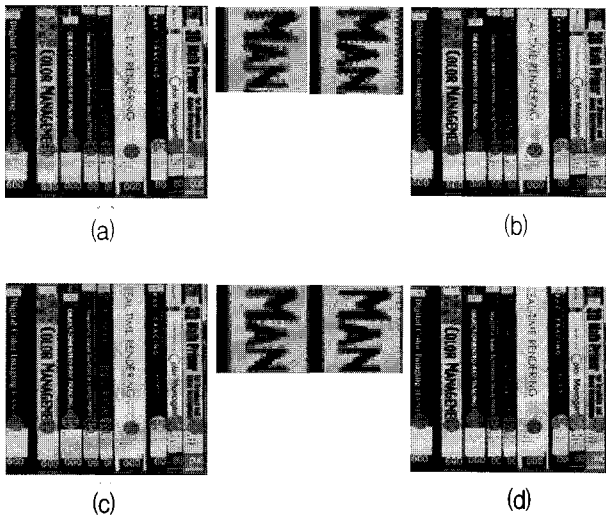


그림 9. 부화소 이동량 추정을 통한 초해상도 영상 획득 (a) 저해상도 영상 (b) sinc 함수를 통한 초해상도 영상 (c) esinc 함수를 이용한 초해상도 영상 (d) 제안한 방법을 통한 초해상도 영상

Fig. 9. HR image using subpixel estimation (a) LR image (b) HR image using sinc function (c) HR image using esinc function (d) HR image using proposed method.

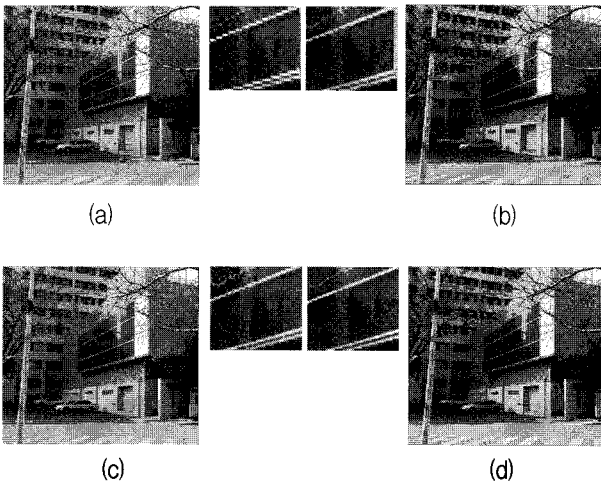


그림 10. 부화소 이동량 추정을 통한 초해상도 영상 획득 (a) 저해상도 영상 (b) sinc 함수를 통한 초해상도 영상 (c) esinc 함수를 이용한 초해상도 영상 (d) 제안한 방법을 통한 초해상도 영상

Fig. 10. HR image using subpixel estimation (a) LR image (b) HR image using sinc function (c) HR image using esinc function (d) HR image using proposed method.

영상을 만들어 보았다. 부화소 이동된 4장의 저해상도 영상을 가지고 이동량을 추정된 후 기준이 되는 영상에 한 장의 영상으로 정합을 하고 난 후 큐빅(cubic) 보간법을 이용해서 해상도를 2배 키운 초해상도의 영상을

만들었다^[12]. 그 결과 그림 9, 10에서 보는 것처럼 제안한 방법에서 가장 선명한 영상을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 백색 가우시안 잡음이나 에일리어싱과 같은 잡음에 강한 부화소 이동량 추정방법을 제시하였다. 기존의 방법에서와 같이 잡음을 포함한 전체 영상의 위상 상관도를 이용하지 않고 영상의 분석을 통해 상대적으로 잡음이 적게 존재하는 영상의 특정 국부 영역을 선택하여 위상 상관도를 수행하였다. 또한 위상 상관도를 이용해 부화소 이동량 계산시, 잡음에 의한 발생하는 보간 오차를 줄이기 위해 반복적인 위상 상관도 방법을 통해 부화소 이동량을 계산하였다. 실험을 통해 에일리어싱과 백색 가우시안 잡음이 있고 부화소 이동된 영상을 가지고 이동량을 추정해 본 결과 제안한 방법이 가장 적은 평균 추정 오차를 보임을 알 수 있었다. 그리고 4장의 부화소 이동된 영상을 이용한 초해상도 영상 결과에서도 가장 선명한 영상을 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] B. Zitova and J. Flusser, "Image registration method: a survey," *Image Vis. Comput.*, vol. 21, no. 11, pp. 977-1000, Oct. 2003.
- [2] D. I. Barnea and H. F. Silverman, "A class of algorithms for fast digital image registration," *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-21, no. 2, pp. 179-186, Feb. 1972.
- [3] P. Thevenaz, U. E. Ruttimann, and M. Unser, "A pyramid approach to subpixel registration based on intensity," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 7, no. 1, pp. 27-41, Jan. 1998.
- [4] H. S. Stone, M. T. Orchard, E. C. Chang, and S. A. Martucci, "A fast direct Fourier-based algorithm for subpixel registration of image," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 39, no. 10, pp. 2235-2243, Oct. 2001.
- [5] B. S. Reddy and B. N. Chatterji, "An FFT-based technique for translations, rotation, and scale-invariant image registration," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 5, no. 8, pp. 1266-1271, Aug. 1996.
- [6] Murat Balci, and Hanssan Foroosh, "Subpixel estimation of shifts directly in the Fourier domain," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 15,

no. 7, pp. 1965-1972, Jul. 2006.

[7] W. S. Hoge, "A subspace identification extension to the phase correlation method," *IEEE Trans. Med. Imag.*, vol. 22, no. 2, pp. 277-280, Feb. 2003.

[8] H. Foroosh, J. B. Zerubia, and M. Berthod, "Extension of phase correlation to subpixel registration," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, no. 3, pp. 188-200, Mar. 2002.

[9] Vasileios Argyriou and Theodore Valachos, "On the estimation of subpixel motion estimation using phase correlation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 16, no. 3, pp. 033018-1-03318-8, Jul.-Sep. 2007.

[10] S. P. Kim and W. Y. Su, "Subpixel accuracy image registration by spectrum cancellation," in *Proc. ICASSP*, pp. 153-156, 1993.

[11] Y. Keller and A. Averbuch, "A projection-based extension to phase correlation image alignment," *Signal processing*, vol. 87, no. 1, pp. 124-133, Jan. 2007.

[12] P. Vandewalle, S. Ssstrunk, and M. Vetterli, "A frequency domain approach to registration of aliased images with application to super-resolution," *EURASIP J. Appl. Signal Processing*, vol. 2006, pp. 1- 14, 2006.

[13] Ville Ojansivu and Janne Heikkila, "Image registration using blur invariant phase correlation," *IEEE signal processing letters*, vol. 14, no. 7, Jul. 2007.

[14] Li Chen and Kim Hui Yap, "An effective technique for subpixel image registration under noisy condition," *IEEE Trans. systems, man, and cybernetics part A*, vol. 38, no. 4, Jul. 2008.

저 자 소 개



하 호 건(학생회원)
 2007년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부 (공학사)
 2009년 경북대학교 대학원 전자
 전기컴퓨터학부
 (공학석사)
 2009년~현재 경북대학교 대학원
 전자전기컴퓨터학부
 박사과정 재학중

<주관심분야 : 영상 정합, 컬러영상처리>

고 경 우(학생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 46권 SP편 제 4호 참조

장 인 수(학생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 41권 SP편 제 1호 참조

하 영 호(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 38권 SP편 제 3호 참조