

흔들림이 있는 영상의 움직임 방향과 정도의 추정

최지웅, 강문기, 박규태

연세대학교 전자공학과

superegg@goblins.yonsei.ac.kr

Extraction of the motion parameters from blurred images

Ji Woong Choi, Moon Gi Kang, and Kyu Tae Park

Dept. of Electronic Engineering

Yonsei University

요약

카메라로부터 얻은 영상은 이를 얻는 과정에서 카메라의 떨림 및 추가되는 노이즈에 의하여 손상을 입을 수 있으며, 이런 과정으로 손상된 영상에는 움직임 번짐현상(motion blur)이 발생하며 이는 영상의 명확도를 현저하게 떨어지게 한다. 움직임 번짐현상은 주파수 영역에서 움직임의 방향으로 주기적인 영점을 발생시키며 그 주기는 움직임의 길이에 반비례한다. 이러한 영점은 원 영상에 의한 영점과 노이즈에 의하여 소실되므로 이들의 영향을 power 영역에서의 평균법으로 최소화 시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 원영상과 노이즈의 영향인 최소화된 상태에서 2차원 cepstrum을 통하여 번짐현상의 주기와 방향을 계산해내는 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

영상 입력 매체를 통하여 얻어진 영상은 영상 입력 매체의 PSF (point spread function)에 의하여 왜곡된다. 이렇게 왜곡된 영상을 복원하기 위해서는 PSF에 대한 정보가 필수적이다. 그러나 영상 매체에 대한 정보가 없는 경우 이를 통해 얻은 영상으로부터 매체의 PSF를 추정해야 하며 이를 blind deconvolution 문제라고 한다. Blind deconvolution의 경우, PSF를 추정하는 여러 방법이 연구되어왔다 [1-6]. 랜즈의 초점이 틀려 발생하는 경우처럼 주파수 영역에 영점을 발생하는 경우에 사용되는 주파수 영역 분석법[1,2]이나 Gaussian blur와 같이 주파수 영역에 영점을 발생하지 않는 경우 사용하는 Parametric 모델[4,5]은 대표적인 방법의 예이다. 카메라

의 노출시간동안 물체의 상대 변위에 의하여 영상이 변형되는 경우, 이를 복원하는 문제 또한 blind deconvolution의 한 종류이다. 이렇게 변형된 영상에는 움직임 번짐현상이 일어난다. 움직임 번짐현상의 PSF는 번짐현상이 일어난 방향으로의 직선이 된다. 그러므로 만약 영상의 변형 요인을 움직임에 의한 번짐현상이라고 가정한다면 이 가정을 통하여 PSF에 대한 상당한 수준의 정보를 얻을 수 있다. 움직임 번짐현상이 일어난 영상은 그 주파수 영역에서 주기적인 영점을 발생시키므로 이 경우 주파수 영역 분석법을 사용하는 것이 효율적이다. 영상 데이터는 2차원 데이터이므로 이를 복원하기 위해서는 움직임의 길이와 방향을 알아내야 하며 이는 주파수 영역에서의 영점의 방향과 주기를 알아내야 한다. 여기에 더하여 영상에 추가되는 노이즈와 영상 자체에 기인한 영점의 영향을 줄여주는 과정이 필요하다.

2. 문제 제기

2.1 번짐 현상을 일으키는 시스템 모델

카메라를 통해 얻어진 영상은 LSI (linear space-invariant) 가정하에 다음과 같이 수학적 모델로 나타낼 수 있다.

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

여기에서 $f(x,y)$ 는 원 영상, $h(x,y)$ 는 영상 시스템의 point spread function이며, $n(x,y)$ 는 더해지는 노이즈이고 $g(x,y)$ 는 영상 시스템을 통과하여 관측되는 영상이

다. 가정된 영상 시스템은 카메라의 흔들림에 의한 움직임 변점현상이므로 이의 PSF인 $h(x,y)$ 는 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$h(x,y) = \begin{cases} \frac{1}{d} & -\frac{d}{2} \cos \theta \leq x \leq \frac{d}{2} \cos \theta; \\ & -\frac{d}{2} \sin \theta \leq y \leq \frac{d}{2} \sin \theta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 θ 는 $\tan^{-1}(\frac{y}{x})$ 이며 이는 움직임의 방향이고 d 는 움직임의 길이 이다.

식 (1)을 Fourier 변환 영역에서 나타내면 이는 다음과 같이 나타난다.

$$G(u,v) = F(u,v) \cdot H(u,v) + N(u,v) \quad (3)$$

여기서 $H(u,v)$ 는 sinc 함수이며 이는 움직임 각도 θ 의 방향으로 주기적인 영점을 나타내며 그 간격은 $\frac{1}{d}$ 에 비례한다. $G(u,v)$ 는 원영상의 주파수 성분인 $F(u,v)$ 와 $H(u,v)$ 의 곱으로 나타나기 때문에, $H(u,v)$ 의 주기적인 영점이 관측되는 영상의 주파수 성분인 $G(u,v)$ 에도 나타나게 된다. 그러므로 영상 복원에 필요한 인수인 움직임의 길이 d 와 방향 θ 는 $G(u,v)$ 에 나타난 영점의 방향과 주기로부터 얻을수 있다. 그러나 $G(u,v)$ 에서 나타나는 영점은 $H(u,v)$ 에 의한 주기적인 영점외에 영상의 주파수 성분 $F(u,v)$ 에 의한 영점도 포함되어 있다. 또한 영상에 노이즈가 첨가될 경우 이는 주파수 영역의 전 대역에 걸쳐서 영향을 끼치므로 $G(u,v)$ 에 나타나는 영점의 주기성을 심각하게 손상한다. 따라서 $G(u,v)$ 에서 주기적인 영점을 검출하기 위해서는 원영상 신호의 주파수 성분 $F(u,v)$ 자체의 영점과 노이즈의 주파수 성분 $N(u,v)$ 가 미치는 영향을 줄여야만 한다.

2.2 POWER 영역에서의 평균을 사용하여 영상 신호의 POWER 스펙트럼의 영점 제거와 노이즈의 영향 최소화

원영상 $F(u,v)$ 에 의한 불규칙적인 영점은 영상 신호를 stationary random process라고 가정하면, 이를 Welch's 알고리즘을 사용하여 power 스펙트럼 estimation을 구하는 방법으로 제거할수 있다. 이의 과정은 다음과 같다. 먼저 $g(x,y)$ 를 같은 크기의 작은 N 개의 영상으로 나누

고 그중 하나를 $g_i(x,y)$ 라고 하면 $g_i = h * f_i + n_i$ 가 된다. 이들 N 개의 $g_i(x,y)$ 에 대하여 각각 2차원 Fourier 변환을 취하면

$$G_i(u,v) = H(u,v)F_i(u,v) + N_i(u,v) \quad (4)$$

가 된다. 이 식의 양변에 절대값을 취하고 제곱을 취하면

$$|G_i(u,v)|^2 = |H(u,v)F_i(u,v) + N_i(u,v)|^2 \quad (5)$$

가 된다. 여기서 $H(u,v)F_i(u,v)$ 를 $A_i(u,v)$ 라고 치환하고, $A_i(u,v) = a_i + b_j$, $N_i(u,v) = c_i + d_j$ 라고 치환하면,

$$\begin{aligned} & |A_i(u,v) + N_i(u,v)|^2 = \\ & |A_i(u,v)|^2 + |N_i(u,v)|^2 + 2(a_i c_i + b_i d_i) \end{aligned} \quad (6)$$

와 같이 나타난다. 여기서 $\angle A_i = \theta_{A_i}$, $\angle N_i = \theta_{N_i}$, $\angle A_i - \angle N_i = \theta_{A_i} - \theta_{N_i} = \theta_i$ 라고 하면, 식 (6)는 다음과 같이 다시 쓸수 있다.

$$\begin{aligned} & |A_i(u,v) + N_i(u,v)|^2 = \\ & |A_i(u,v)|^2 + |N_i(u,v)|^2 + \\ & 2|A_i(u,v)||N_i(u,v)| \cos \theta_i \end{aligned} \quad (7)$$

작은 N 개의 $G_i(u,v)$ 는 서로 더하여 평균을 내야 하므로 전체 식은 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} & \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} |G_i(u,v)|^2 = \\ & \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} |H(u,v)F_i(u,v) + N_i(u,v)|^2 = \\ & \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \{ |H(u,v)F_i(u,v)|^2 + |N_i(u,v)|^2 \} + \\ & \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2|H(u,v)F_i(u,v)||N_i(u,v)|}{N} \sum_{i=1}^N \cos \theta_i \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $|H(\omega)F_i(\omega)|$ 와 $|N_i(\omega)|$ 는 서로 독립이고

$\cos \theta_i$ 는 $-1 \leq \cos \theta_i \leq 1$ 의 범위에서 uniform한 random 값을 가지므로 $N \rightarrow \infty$ 일때 식 (8)의 오른쪽 끝항은 0 으로 수렴한다. 최종식은 다음과 같다.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H(u, v)F_i(u, v) + N_i(u, v)|^2 = P_g(u, v) = P_f(u, v) \cdot |H(u, v)|^2 + P_n(u, v) \quad (9)$$

$P_g(u, v)$ 는 $g(x, y)$ 의 power spectrum estimation이고 $P_f(u, v)$, $P_n(u, v)$ 는 각각 $f(x, y)$ $n(x, y)$ 의 power spectrum estimation 값이다. 이렇게 평균을 내서 구해진 $P_f(u, v) \cdot |H(u, v)|^2$ 의 영점은 $H(u, v)$ 에 의한 영점이라고 할 수 있다. 또한 $P_n(u, v)$ 는 노이즈 분산 값에 수렴하게 되어 상수에 가까워지므로 $P_f(u, v) \cdot |H(u, v)|^2$ 의 고주파 성분의 손상을 줄일수 있다.

3. CEPSTRUM을 사용한 움직임 번짐현상 인수 추정

원신호와 노이즈에 의하여 영점들의 주기성이 약해진 power spectrum을 cepstrum영역으로 옮기면 PSF의 주기성을 검출하는데 유용하다. cepstrum의 식은 다음과 같다.

$$C_n(p, q) = F^{-1}\{\log |P_g(u, v)|\} \quad (10)$$

여기서 F^{-1} 은 Inverse Fourier transform 이다. 움직임 번짐현상의 PSF 는 그 방향으로 rectangular 함수로 나타나며 이의 cepstrum은 rectangular의 길이 d 와 그 정수배 되는 곳에서 뚜렷한 negative peak를 발생시킨다. 이에 대한 증명은 다음과 같다.

4.1 움직임 BLUR PSF에 대한 CEPSTRUM

$$h(t) = \text{rect}\left[\frac{t}{l}\right] \quad \text{일때} \quad (l = \text{blur length})$$

$$H(u) = \mathcal{T}[h(t)] = \mathcal{T}\left[\text{rect}\left[\frac{t}{l}\right]\right] = \frac{\sin(\pi lu)}{\pi lu} \quad (11)$$

이다. cepstrum 식에 의하여 spectrum 에 log를 취한다.

$$\log |H(u)| = \log \sin(\pi lu) - \log(\pi lu) \quad (12)$$

log 의 미분 값을 fourier 변환 한 다음 위의 성질을 사용하여 log 의 fourier transform 값을 구하도록 한다. 식 (12)를 $s(u)$ 라고 정의하면

$$s(u) = \log \sin(\pi Lu) - \log(\pi Lu) \quad (13)$$

이 되며 식(13)의 미분식은 다음과 같다

$$s'(u) = \frac{\pi L \cos(\pi Lu)}{\sin(\pi Lu)} - \frac{1}{u} \quad (14)$$

식 (14)의 fourier 변환은 다음과 같다

$$\begin{aligned} \mathcal{T}[s'(u)] &= \mathcal{T}\left[\frac{\pi L u \cos(\pi Lu)}{\sin(\pi Lu)}\right] - \mathcal{T}\left[\frac{1}{u}\right] \\ &= \pi L \mathcal{T}\left[\frac{\cos(\pi Lu)}{\sin(\pi Lu)}\right] - \mathcal{T}\left[\frac{1}{u}\right] \end{aligned} \quad (15)$$

따라서 전체 식은 다음과 같다.

$$\mathcal{T}[s(u)] = \frac{C_n}{ju} - \frac{1}{2\pi^2 j} \text{sgn}\left(\frac{2\pi^2}{j} u\right) \quad (16)$$

여기서

$$\begin{aligned} u &= nl \\ C_n &= \frac{-4j}{l} \prod_{k=0}^{n-1} \frac{n-(k+1)}{n-k} & n \geq 3 \\ C_n &= -2jp_l & n = 2 \\ C_n &= 0 & n < 2 \\ n &: \text{정수} \end{aligned}$$

이러한 cepstrum의 성질을 이용하여 $P_g(u, v)$ 에 2차원 cepstrum을 사용하면 움직임의 방향으로 길이 d의 간격으로 negative peak가 발생한다. 따라서 여기에 peak 검출기를 사용하여 가장 큰 peak를 추출하면, 원점에서 이 peak까지의 거리가 움직임의 길이 d 이고 수평축과 원점에서 peak를 잇는 선과의 각이 움직임의 방향 θ 가 된다.

4. 실험 및 결과

실험은 Lena 영상 (크기: 256 by 256)을 사용하여 여러 경우에 대하여 실험하였다. 영상의 power 스펙트럼 estimation을 구하기 위하여 원영상을 128 by 128 크기의 영상으로 나누어 Welch's 알고리즘으로 평균하였다. 각각 다른 경우의 움직임으로 세가지 실험을 하였다. 움직임의 길이와 각도는 각각 ($\theta=0^\circ$ d=25), ($\theta=30^\circ$ d=13), ($\theta=70^\circ$ d=13) 이었다. 그림 1에서 (a)는 실험에 사용한 lena 영상이고 (b)는 이의 power 스펙트럼이다. 그림 4에서 (a)는 $\theta=0^\circ$ d=25의 움직임 번짐현상에 20dB의 노이즈가 첨가된 영상이고 (b)는 이의 power 스펙트럼이다. 그림 5에서 (a)는 실험영상의 power 스펙트럼 추정값이며 (b)는 이의 cepstrum이고 (c)는 peak 검출기로 길이와 각을 검출한 결과이다. 그림 4, 그림 5은 $\theta=30^\circ$ d=13의 움직임 번짐현상에 20dB의 노이즈가 첨가된 영상의 실험 결과이고 그림 6, 그림 7은 $\theta=70^\circ$ d=13의 움직임 번짐현상에 20dB의 노이즈가 첨가된 영상의 실험 결과이다. 그림 8의 (a)는 10dB의 노이즈가 첨가된 움직임 번짐현상이 일어난 영상의 움직임 방향에서의 그래프이다. 고주파 성분은 노이즈에 많은 영향을 받는다는 것을 알수 있다. (b)는 d=13의 움직임 번짐현상과 10dB의 노이즈가 첨가된 영상의 cepstrum을 나타내었다.

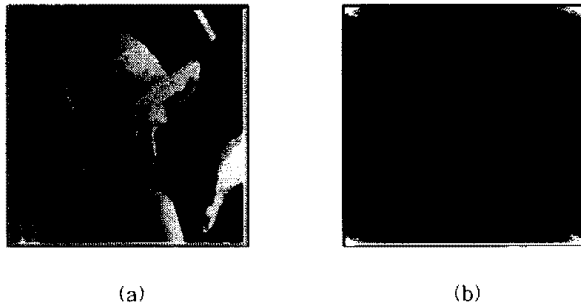


그림 1. 256 by 256 lena 영상 (a) 원영상; (b) 원영상의 power 스펙트럼

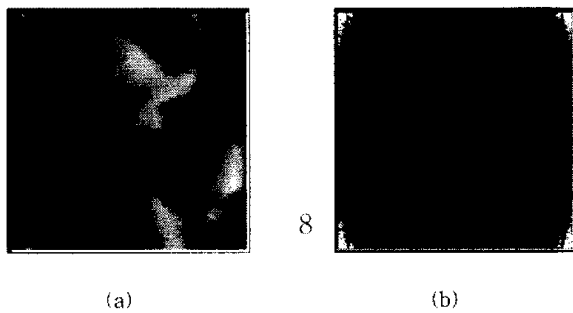


그림 2. $\theta=0^\circ$ d=25 움직임 번짐현상에 20dB 노이즈가 첨

가된 영상 (a) spatial 영역; (b)이의 power 스펙트럼

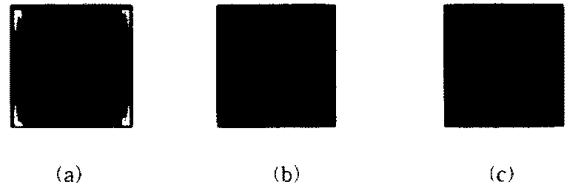


그림 3. $\theta=0^\circ$ d=25 움직임 번짐현상 (a) power 스펙트럼 estimation; (b) cepstrum; (c) peak 검출기 결과
result : $\theta=0.000^\circ$ d=26.000

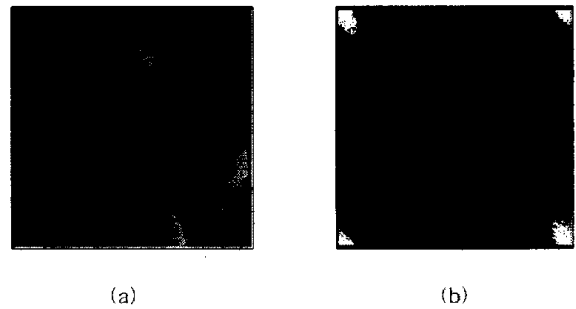


그림 4. $\theta=30^\circ$ d=13 움직임 번짐현상에 20dB 노이즈가 첨가된 영상 (a) spatial 영역; (b)이의 power 스펙트럼

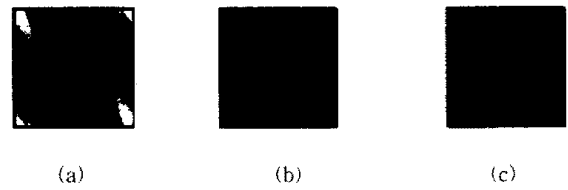


그림 5. $\theta=30^\circ$ d=13 움직임 번짐현상 (a) power 스펙트럼 추정치; (b) cepstrum; (c) peak 검출기 결과
result : $\theta=28.610^\circ$ d=12.529



그림 6. $\theta=70^\circ$ d=13 움직임 번짐현상에 20dB 노이즈가 첨가된 영상 (a) spatial 영역; (b)이의 power 스펙트럼

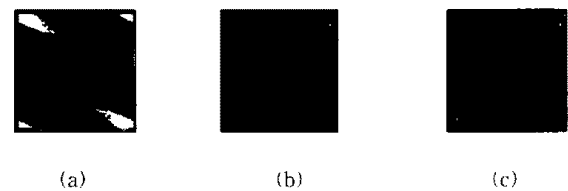
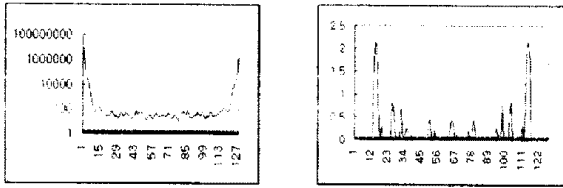


그림 7. $\theta=70^\circ$ d=13 움직임 번짐현상 (a) power 스펙트럼

추정치; (b) cepstrum; (c) peak 검출기 결과
 result : $\theta = 67.380^\circ$ $d = 13.000$



(a)

(b)

그림 8. (a) 10db 노이즈가 첨가된 움직임 변진현상 영상의 power spectrum 추정치; (b) cepstrum

참고문헌

- [1] R. Fabian and D.Malah, "Robust identification of motion and out-of-focus blur parameters from blurred and noisy images", CVGIP Vol.53, No. 5, September, pp. 403_412. 1991
- [2] T.M. Cannon, "Blind deconvolution of spatially invariance image blurs with phase", IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Proces. 24, 1976.
- [3] Donald G. Childers, David P. Skinner and Robert C. Kemerait, "The cepstrum: a guide to processing", PROC of the IEEE, VOL. 65, NO. 10, October 1977
- [4] Murali Subbarao, Tse-Chung Wei and Gopal Surya, "Focused image recovery from two defocused images recorded with different camera settings", IEEE Transaction on image processing. VOL. 4, NO. 12, December 1995
- [5] A. Murat Tekalp, Howard Kaufman, and John W. Woods, "Identification of image and blur parameters for the restoration of noncausal blurs", IEEE Transactions on Acoustic, Speech, and Signal Proc, VOL. ASSP-34, NO. 4, August 1986
- [6] Noriaki Miura, Kenro Ohsawa, and Naoshi Baba, "Single-frame blind deconvolution by means of frame segmentation", Optics letters, Vol. 19, No. 10, May 15, 1994
- [7] S.Lawrence Marple, Jr, *Digital spectral analysis with applications*, Prentice-Hall, 1987
- [8] Reginald L. Lagendijk Jan Biemond, *Iterative Identification and Restoration of Images*, Kluwer Academic publishers, 1991