

Motion Estimation과 Recursive Filtering을 사용한 초음파 동화상의 개선

송진수*, 이종권, 양윤정, 최환준, 오창현
고려대학교 자연과학대학 응용전자공학과

Improvement of Ultrasound Images Using Motion Estimation and Recursive Filtering

J.S. Song*, J.K. Lee, Y.J. Yang, H.J. Choi, C.H. Oh
Department of Applied Electronics, Korea University

ABSTRACT

The purpose of this paper is to improve ultrasound images using motion estimation and recursive filtering. Although averaging without motion correction can make image blurring, the proposed estimation method improves image SNR without motion blurring by recursively averaging images with motion correction. Computer simulation on the proposed method has been performed to improve phantom and ultrasound fish images and the results show the utility of the proposed method.

서 론

의료용 동화상은 진단 분야에서 주로 얻어지며 그 예로서 초음파 영상과 자기공명영상 (CINE image) 및 Ultrafast CT를 예로 들 수 있다. 현재까지 초음파 영상에서는 데이터 수집 시의 간단한 averaging 등의 real-time processing 과 자기공명 영상에서는 gated cardiac image의 후처리[1] 등이 행하여 졌다. 그러나 초음파 영상에서는 real time 으로 동화상의 개선이 필요하여 그 motion을 고려하지 않은 다른 frame간의 average 하는 방법이 사용되었기 때문에 심장 등의 움직이는 부분의 촬영 등의 경우 motion burring 현상이 생겼다.

다른 분야에서 동화상 처리는 주로 HDTV의 개발과 computer vision 등의 분야에서 video camera 로 찍은 영상을 대상으로 하여 많이 수행되어 왔다. 본 논문과 연관된 분야로는 image-flow estimation 등에 관한 연구가 되어 왔으나 의료 영상의 특성에 맞게 적용하려면 개선이 필요하다.

어떤 imaging 방법이든 동화상을 얻을 때는 각

frame당 짧은 imaging 시간 때문에 신호 대 잡음 비가 제한을 받게 된다. 이 경우 공간분해능도 또한 제한되게 하는데, 어떤 적당한 방법으로 공간적 또는 시간 축으로 적분을 이용하여 최종 영상의 질을 높이는 방법이 시행되고 있다. 그러나 그 공간분해능을 낮추거나 시간적인 움직임이 부정확해 지는 등의 단점이 있게 된다. 이에 따라 공간분해능을 해치지 않으면서 공간적인 움직임을 고려한 시간 적분을 함으로서 동영상의 신호 대 잡음 비를 높이는 방법에 대한 연구가 필요하게 되었다.

방 법

Motion Estimation

현재까지 대부분의 동화상의 motion estimation 은 아래의 세 가지 중 한 가지 방법에 기초를 두고 있다.

- ① Correlation-based method
- ② Gradient-based method
- ③ Spatiotemporal energy based method

일반적으로 motion의 estimation은 동화상 내의 어떤 information이 conserve 된 것을 이용하여 각 image pixel 마다 다음 frame까지의 움직임을 구하여 2차원 vector를 assign 함으로써 이루어진다. 이에 쓰이는 information의 예로는 intensity[2] 또는 intensity의 미분[3] 또는 그 주위의 intensity 분포[4] 등을 들 수 있다. 이 논문에서는 원래의 영상 또는 image의 Laplacian을 구한 후 어느 작은 window가 움직였다고 가정하여 그 차이의 제곱의 합을 계산하여(SSE: Sum of Squared Errors) 움직임 vector에 따른 SSE의 값을 이용하여 움직인 방향과 크기를 계산하였다. Frame 번호 k 의 영상에서 (x, y) 에 존재하는 pixel값을 $f_k(x, y)$ 라 하면 $(k-1)$ 번째 frame의 (x, y) 주위의 $(2n+1) \times (2n+1)$ 개의 pixel이 (k) 번째

frame상의 어느 위치로 옮겼는지 계산하기 위해서는 아래와 같이 그 상대적으로 움직인 거리 (u, v) 에 따른 SSE, $E(u, v)$, 를 구할 수 있다. 즉,

$$E(u, v) = \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N \{f_{k-1}(x+i, y+j) - f_k(x+i+u, y+j+v)\}^2. \quad (1)$$

여기에서 $-N \leq u, v \leq N$ 이며 N 은 1 frame간 최대로 움직인 pixel 갯수이다.

여기에서 $E(u, v)$ 가 maximum일 때 zero, minimum(=zero) 일 때 1로 대응되는 function을 만들어 $R(u, v)$ 를 계산한다. $R(u, v)$ 는 error 크기에 따라 선형으로 또는 지수 함수적으로 변하는 함수로 정의된다. 이 경우 (u, v) 는 weighted-least-square estimate 등의 방법으로 구할 수 있다[5].

Recursive Filtering

Recursive 필터를 사용할 때는 현재의 추정치를 계산하기 위해 과거의 측정치를 기억시킬 필요가 없다. noise로 나빠진 k 개의 측정치 (z_i) 에 근거하여 랜덤하지 않은 스칼라 상수, x 를 추정한다고 가정하면 unbiased, 최소 분산 추정치의 추가 측정치는 아래와 같이 정의된다.

$$\hat{x}_{(k+1)} = \frac{1}{k+1} \sum_{i=1}^{k+1} z_i. \quad (2)$$

(2)식으로 부터,

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+1} &= \frac{k}{k+1} \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k z_i \right) + \frac{1}{k+1} z_{k+1} \\ &= \frac{k}{k+1} \hat{x}_k + \frac{1}{k+1} z_{k+1}. \end{aligned} \quad (3)$$

\hat{x}_{k+1} 을 계산하기 위해 (3)식을 적용시킴으로써 과거 측정치가 기억되어야 할 필요성이 없어진다. 모든 이전의 정보는 이전의 추정치에 포함되어져 있는데 이것을 재귀, 선형 추정기(recursive, linear estimator)라 한다.

또한 (3)의 식을 시간 t_k 의 상태를 가진 이산 시스템에 적용시켜 보면 다음과 같다.

$$\hat{x}_k(+) = K'_k \hat{x}_k(-) + K_k z_k \quad (4)$$

여기에서, $\hat{x}_k(-)$ 는 시간 t_k 의 시스템 상태에서의 이전 측정치이며, 측정 z_k 를 기본으로 하여 $\hat{x}_k(+)$ 는 새로운 측정치이다. 이 식에서 z_k 는

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (5)$$

으로 표현되는데 이는 시간 t_k 에서의 l 개의 측정치를 뜻한다. 그리고 H_k 는 noise가 존재하지 않는 z_k 를 구성하는 상태 변수의 선형 조합이고 v_k 는 random한 값으로 이루어진 벡터이다.

그리고 필터를 사용하는데 필요한 메모리의 증가를 피하기 위하여 추정치는 (4)과 같은 선형, 재귀적인 형태로 쓰여진다. 이식에서 K'_k 과 K_k 를 구해야 하는데 이것은 정해지지 않고 시간에 따라 변화하는 weighting 매트릭스가 된다[6].

이 논문에서는 estimation을 반복함에 따라 과거의 frame들을 exponential함수로 weighting하여 새로운 추정치를 구했다. 과거의 estimation \hat{x}_{k-1} 과 새로 measure된 값 x_k 로 부터 가장 간단하게 \hat{x}_k 를 recursive하게 구하는 법은 이들을 $a : 1$ 로 average하는 것으로

$$\hat{x}_k = \frac{a}{a+1} \hat{x}_{k-1} + \frac{1}{a+1} x_k \quad (6)$$

의 식을 사용하여 새로운 estimation \hat{x}_k 를 구한다.

즉, k 가 무한대로 커질 때

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \frac{1}{a+1} x_k + \frac{1}{a+1} \left(\frac{a}{a+1} \right) x_{k-1} + \frac{1}{a+1} \left(\frac{a}{a+1} \right)^2 x_{k-2} + \dots \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{a+1} \left(\frac{a}{a+1} \right)^i x_{k-i} \end{aligned} \quad (7)$$

이 된다.

이 경우 rms noise는 Gaussian random noise로 가정하여

$$K = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{a+1} \right)^2}{1 - \left(\frac{a}{a+1} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2a+1}} \quad (8)$$

의 비율로 줄어든다. 예를 들어 $a = 2, 3, 4$ 일 때 각각 $\frac{1}{K} = \sqrt{5}, \sqrt{7}, 3$ 의 비율로 신호 대 잡음 비가 좋아지게 된다. 단 여기서 a 의 값이 너무 크면 과거의 값이 너무 크게 weighting되어 새로운 변화를 정확히 보이지 못하는 경향이 생기며 너무 작으면 신호 대 잡음 비의 증가가 적어지게 된다.

결 과 및 토 의

Simulated phantom image를 사용한 computer simulation과 초음파 시스템으로 얻어진 동화상의 처리를 시도하였다.

1. Phantom동영상을 이용한 simulation결과

Simulation에 사용된 동영상의 Specification은 아래와 같다.

- (1) Image matrix 크기 : 256×256
- (2) Intensity resolution : 8 bits (0~255)
- (3) Ideal high level : 223 (=255-32)
- (4) Frame 갯수 : 12개

(5) Noise standard deviation : 16

(6) Motion : 최대 $3\sqrt{2}$ pixels/frame

12 frame중 4, 12번째의 noise가 첨가된 영상을 그림 1 (a), (b)에 보였다. 위, 아래쪽에 각각 다른 contrast의 부분이 있으며 좌측은 움직이지 않고 우측의 다른 크기의 원형 부분만 1~6 frame까지는 우측으로 3 pixels/frame의 속도로 7~12 frame간은 우·하로 비스듬히 ($3\sqrt{2}$) pixels/frame의 속도로 움직인다(우측으로 3, 아래로 3 pixels/frame).

이를 현재의 초음파 시스템에서 사용 중인 average방법으로 처리한 것을 그림 1 (c), (d)에 보였다. (c)와 (d)까지 각각 1~4, 9~12까지의 네 frame을 평균한 영상으로서 신호 대 잡음 비가 개선된 것이 확실히 눈에 띄지만 또한 motion에 의해 움직이는 부분이 blur된 것을 볼 수 있다.

위의 영상을 본 논문에서 제안한 motion estimation에 의하여 recursive filtering한 것을 그림 1 (e), (f)에 보였다. (e), (f)의 영상은 motion estimation을 이용해 recursive filtering으로 얻은 영상이다. Motion estimation을 하기 위해 Sum of Squared Error방법(앞의 Motion Estimation Section 참조)으로 3×3 의 matching window에 최대 ± 5 pixels/frame의 움직임을 가정하여 움직임을 estimation하였으며 averaging은 $a=4$ 로 하여 얻었다. (e)와 (f)는 각각 4, 12번째 frame의 영상으로서 신호 대 잡음 비가 좋아진 것과 motion에 의한 blurring이 없어진 것을 볼 수 있다.

2. 초음파 시스템으로 얻은 수조 안의 봉어의

동영상 처리 결과

움직이는 봉어를 대상으로 역시 12 frame의 영상을 얻었다. 그중 첫 번째 frame의 영상을 그림 2에 보였다. Processing은 봉어를 포함한 가운데의 200×360 matrix크기의 image에 대하여 실행하였다. 여기서 그대로 average한 영상과 motion correction을 하여 averaging한 영상을 만들어 보았다. 그림 3 (a)가 원래의 영상, 그림 3 (b)가 motion correction 없이 average한 영상, 그림 3 (c)에 motion - compensated average를 시행한 영상이다. 이 경우 이론적으로는 신호 대 잡음 비가 약 2배로 좋아져야 한다. 그림에서 (a)와 비교해서 (b)와 (c)의 background가 더욱 깨끗해진 것을 볼 수 있다. 단 motion을 고려하지 않은 (b)는 봉어의 윤곽이 흐려진데 비하여 (c)는 윤곽이 더욱 또렷해진 것을 볼 수 있다.

이 논문에서는 motion estimation과 recursive filter를 사용한 초음파 동화상의 개선 방법에 대한 연구 결과를 보였다. 제안된 방법은 초음파영상뿐만

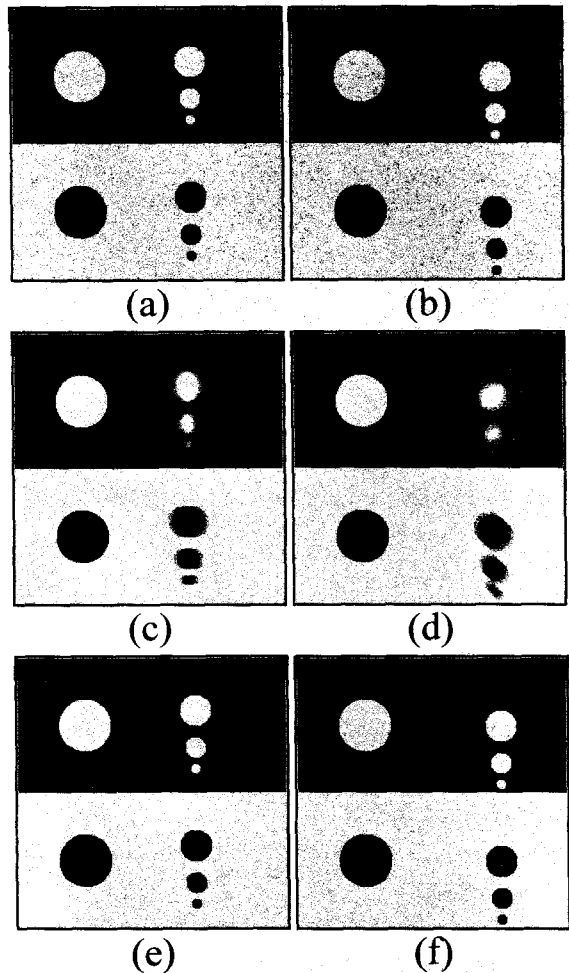


그림 1. Phantom Images

- (a) 12 frame중 4번째의 noise가 첨가된 영상
- (b) 12 frame중 12번째의 noise가 첨가된 영상
- (c) 1~4까지의 네 frame을 motion correction 없이 평균한 영상
- (d) 9~12까지의 네 frame을 motion correction 없이 평균한 영상
- (e) 본 논문에서 제안한 motion estimation을 사용하여 recursive filtering하여 얻은 4번째 frame의 영상
- (f) 본 논문에서 제안한 motion estimation을 사용하여 recursive filtering하여 얻은 12번째 frame의 영상

나라 자기공명 CINE image 등에도 적용이 가능할 것으로 보인다. 그러나 처리 속도가 아직 느려 초음파 시스템같은 고속 동화상에의 on-line적용은 아직 힘들 것으로 보인다. 현재 위의 처리 과정은 1 frame 당 PC로 약 2분이 소요되었으며 더욱 빠르게 processing하는 algorithm과 연관된 hardware를 개발함으로써 on-line 사용이 가능해질 것이다



그림 2. 초음파 시스템으로 얻은 수조 내의 봉어의 영상.

감사의 말

저자들은 본 연구에서 사용한 초음파 영상의 사용에 도움을 준 (주)메디슨의 이승우 박사님과 임채은씨께 감사드린다.

REFERENCES

1. A. Young, L. Axel, "Non-rigid heart wall motion using MR tagging," *Proc. CVPR '92*, pp. 399-404, 1992.
2. W. Enkelmann, "Investigations of multigrid algorithms for estimation of optical flow fields in image sequence," *Computer Vision Graphics and Image Processing*, Vol. 43, pp. 150-177, 1988.
3. B.F. Buxton and H. Buxton, "Computation of optic flow from the motion of edge features in image sequence," *Image and Vision Computing*, 2, 1984.
4. G.L. Scott, *Local and global interpretation of moving images*, Morgan Kauffman Publishers, 1988.
5. J.V. Beck, K.J. Arnold, *Parameter estimation in engineering and science*, John Wiley and Sons, 1977.
6. A. Gelb (Editor), *Applied optimal estimation*, M.I.T. Press, 1983.



(a)



(b)



(c)

그림 3. Processing결과

- (a) 5번째 frame 영상.
- (b) Motion effect를 보정하지 않고 average한 영상.
- (c) Motion effect를 보정하여 얻은 영상.