

초음파 영상에서 비선형 광학 흐름 추정 방법을 이용한

움직임 보상 시간 필터

임수철[○], 한태희, 김백섭

한림대학교 정보통신공학부

{knight41[○], hth2104, bskim}@hallym.ac.kr

Motion Compensated Temporal Filter using Nonlinear Optical Flow Estimation for Ultrasound Image

Soochul Lim[○], Taehee Han, Baeksop Kim

Division of Information Engineering and Telecommunications, Hallym University

요 약

본 논문은 연속 초음파 영상에서 움직임 보상 시간 필터를 적용하여 영상의 품질을 향상시키는 방법을 제안한다. 비선형 광학 흐름 추정 방법을 이용하여 화소 단위의 움직임을 추정하고, 이를 바탕으로 시간적 재귀 필터링을 적용한다. 화소 단위 움직임 벡터의 양이 작을 경우 필터링을 크게 하고, 움직임 벡터의 양이 클 경우 필터링을 작게 적용한다. 그 결과 프로브에 의한 전역적 움직임과 측정 대상물에 의한 국부적 움직임으로 발생하는 블러 현상을 극소화하고 잡음을 감소시켜 영상의 품질을 향상시켰다.

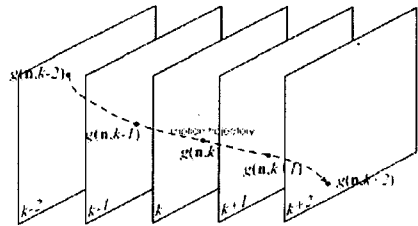
1. 서 론

초음파 영상에는 스펙클(speckle) 잡음, 열 잡음, 비선형 잡음, 그림자 잡음 등 다양한 잡음이 존재한다. 이러한 잡음들을 감소시킴으로써 이상적인 영상의 추정치를 얻어 영상의 품질을 향상할 수 있다.

초음파 영상은 기본적으로 시간에 따라 변하는 2차원 영상, 즉 연속 영상이므로 시간에 대한 필터링을 통해 영상 품질을 향상할 수 있다[1]. 쉬운 예로 시간적 평균 필터(Temporal Averaging Filter)를 곱을 수 있는데, 이는 현재 프레임과 인접하는 프레임들 사이에 평균을 구하는 방법이다. 이 방법은 프레임 수가 늘어날수록 잡음은 많이 감소되지만, 프레임들 사이에 움직임이 블러된다는 단점을 지니고 있다. 일반적으로 프레임 사이에 측정 대상물은 이동한다. 특히 초음파 영상의 경우 프로브의 움직임에 의한 전역적 움직임과 검사 대상물의 이동에 의한 국부적 움직임이 존재한다. 그렇기 때문에 시간 평균과 같은 방법은 움직임 블러가 필연적으로 발생하게 된다.

움직임 블러는 화소의 움직임을 추정하여 같은 움직임 궤적에 있는 화소들에 대한 필터링을 사용함으로써 크게 줄일 수 있다[1]. <그림 1>은 움직임 궤적상에 있는 화소들에 대해 수행하는 필터의 개념도이다. 하지만 단순히 이와 같은 방법을 적용한다면 시간적으로 멀리 떨어져 있는 프레임 간의 움직임을 추정해야 함으로 오차가

발생하기 쉬워지며, 여러 개의 프레임을 저장해야 한다는 문제점이 발생된다. 그렇기 때문에 움직임을 보상하는 적절한 시간적 재귀 필터(Temporal Recursive Filter)의 필요성이 요구된다.



<그림 1> 화소(n, k)의 움직임 궤적에 대한 필터링

연속하는 영상으로부터 움직임을 추정하는 방법은 크게 블록 매칭(Block Matching), 화소 재귀 방법(Pel Recursive Technique), 광학 흐름(Optical Flow) 방법으로 나눌 수 있다. 이 중에서 광학 흐름은 다른 방법에 비해 개체의 움직임을 화소 단위로 정확하게 추정하기 때문에 영상내의 물체의 3차원 구조나 3차원 움직임 등 동영상 해석을 위한 기본 입력으로 사용될 수 있다[2]. 또한 콘텐츠 중심의 저장 및 검색을 위한 움직임은 물체의 분리 등에 중요한 역할을 한다. 한편 현재 표준 압축 방식으로 사용되는 블록 단위의 움직임 추정은 실제 광학 흐름을 잘 표현할 수 없고, 복원 시 생기는 블록 왜곡(block artifact) 등의 문제 때문에 광학 흐름을 이용하는 연구들도 발표되고 있다[3,4].

광학 흐름 추정 방법에서 비선형 방법이 선형 방법보다 우수한 결과를 보인다는 연구들이 있다[5]. 이것은 참고문헌[6]에서 분석한 것처럼 선형 운동 제한식을 얻을 때 무시한 고차항 성분들로 인해 오차가 발생되기 때문이다. 특히 선형 방법은 작은 평활 상수에서 성능이 좋지 않기 때문에 영상 압축 등 운동 제한식에 비중을 두는 응용에서는 바람직하지 않다[4,5]. 현재까지 제안된 비선형 방법으로는 참고문헌[7]에서와 같이 프레임 보간을 이용하여 점근적으로 선형화 하는 방법이 거의 유일하다.

본 논문에서는 비선형 광학 흐름 추정 방법을 이용하여 움직임 보상을 시간적 재귀 필터를 제안한다. 실제 초음파 영상에 제안한 방법을 적용하여 실험한 뒤, 원래 영상과 비교하여 영상의 품질이 향상되었음을 살펴본다.

2. 본 론

2.1 제안하는 움직임 보상 시간적 재귀 필터

일반적으로 시간적 재귀 필터는 다음 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(n, k) &= \hat{f}(n, k-1) + a(n, k)[g(n, k) - \hat{f}(n, k-1)] \\ &= a(n, k)g(n, k) + [1 - a(n, k)]\hat{f}(n, k-1) \quad (1) \end{aligned}$$

여기서 $\hat{f}(n, k)$ 는 이상적인 영상의 추정치이며, $g(n, k)$ 는 실제 측정된 영상이다. 또한 공간좌표계를 이산적인 값, 즉 $n = (i, j)$ 로 표시하고, 프레임 번호는 k 로 나타낸다. 식(1)의 시간적 재귀 필터는 단지 하나의 프레임을 저장할 뿐만 아니라 결정해야 할 계수가 적어 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있다. 식(1)에서 오른쪽 첫째 항은 $\hat{f}(n, k)$ 의 예측치(prediction)이고 둘째 항은 이 예측치를 보정하는 것이라고 할 수 있다. $a(n, k)$ 는 보정치의 이득(gain)이다. 이득을 1로 하면 $\hat{f}(n, k) = g(n, k)$ 가 되어 필터링을 하지 않은 것이고 값이 작아질수록 많은 필터링을 하는 것이다.

프로브에 의한 전역적 움직임과 측정 대상물에 의한 국부적 움직임으로 발생하는 블러 현상을 피하기 위하여, 움직임을 보상한 시간적 재귀 필터는 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(n, k) &= a(n, k)g(n, k) + \\ &[1 - a(n, k)]\hat{f}(n - d(n; k, k-1), k-1) \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 $d(n; k, k-1) = (d_x(i, j; k, k-1), d_y(i, j; k, k-1))$ 로써 화소 (i, j) 에 대해 프레임 k 와 바로 이전 프레임 사이의 움직임 벡터를 나타낸 것이다. 식(2)에서 $a(n, k)$ 는 움직임이 큰 경우에는 필터링을 작게 하기 위하여 움직

임 벡터의 양에 비례하도록 설정하였다.

$$a(n, k) = |d(n; k, k-1)| / M \quad (3)$$

$|d(n; k, k-1)| = |d_x(n; k, k-1)| + |d_y(n; k, k-1)|$ 로 하였고, M 은 $|d(n; k, k-1)|$ 의 최대값에 0.7을 곱해서 설정하였다. 또한 $a(n, k)$ 는 최대 1로 하였다.

2.2 움직임 보상을 위한 비선형 광학 흐름 추정 방법

움직임 벡터를 계산하기 위해 0~4단계를 이루는 피라미드 구조를 사용하였다. 또한 근육(muscle)을 촬영한 초음파 영상을 대상으로 평활 상수를 살펴본 결과, 10~20정도의 평활 상수가 적당하였다. 본 실험에서 사용한 반복 계산식(4)는 다음과 같다[8]. 계산식의 반복 횟수는 100회로 설정하였다.

$$\begin{aligned} u^{n+1} &= \bar{u}^n - \frac{f_x d(\bar{u}^n, \bar{v}^n)}{\alpha^2 + f_x^2 + f_y^2} \\ v^{n+1} &= \bar{v}^n - \frac{f_y d(\bar{u}^n, \bar{v}^n)}{\alpha^2 + f_x^2 + f_y^2} \quad (4) \end{aligned}$$

여기서 $d(u, v) = f(x, y, t) - f(x-u, y-v, t-1)$ 을 의미한다. $f(x, y, t)$ 는 영상의 밝기 함수이며, (u, v) 는 각 화소의 움직임 벡터이다.

2.3 실험 및 결과

실험을 위해 초음파 연속 영상 5장을 선택하였다. 대상 영상은 심장을 촬영한 것으로 영상 하단에 판막의 움직임이 포함되어 있으며, 영상의 크기는 가로, 세로 각각 256 화소였다. 영상의 품질이 향상됨을 알아보기 위해 각각의 영상에 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 첨가하였다.

<영상 1>은 연속 영상 중 마지막 영상이고, <영상 2>는 2.1에서 언급한 일반적인 시간적 재귀 필터를 적용하여 얻은 결과 영상이다. <영상 3>은 제안한 방법을 적용한 결과이다.

<영상 2>는 <영상 1>과 비교하여 잡음의 정도가 줄어들었지만, 심장의 판막과 외벽 부위에 움직임으로 인한 블러 현상이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 그에 반해 <영상 3>은 잡음의 정도가 줄어들고, 움직임 블러 또한 현저하게 줄어들음을 알 수 있다.

3. 결 론

비선형 광학 흐름 추정 방법을 이용하여 움직임을 보상하는 시간 필터를 제안하였다. 제안한 방법은 움직임 블러 현상을 극소화하고 잡음을 감소시키는 성능을 보였다.

비선형 광학 흐름 추정 방법은 가로, 세로 각각 256 화소인 영상 2장간에 움직임 추정시 약 3초의 시간이 소비되었다. 제안한 방법이 실시간으로 동작하기 위해서는 0.05초 이내로 동작 시간을 줄일 필요가 있다. 이를 위해 초음파 영상의 특징을 이용하여 알고리즘을 개선하는 향후 연구가 진행되어야 할 것이다.



<영상 1> 기존 영상



<영상 2> 기존 방법



<영상 3> 제안 방법

[참고문헌]

- [1] Yun Q. Shi, Huifang Sun (ed), *Image and Video compression for multimedia engineering*, CRC Press, ch10, 1999.
- [2] G. Adiv, "Determining 3-d motion and structure from optical flow generated by several moving objects," *IEEE trans. on PAMI*, Vol.7, No.4, pp.384-401, July 1985.
- [3] S. Han and C. Podilchuk, "Modeling and coding of dfd using dense motion fields in video compression," in *Proc. of IEEE Intl' Conf. on Image Processing*, IEEE press Vol.3, pp.146-149, Sept 2000.
- [4] J. D. Kim, "Motion compensation of wavelets with implicit optical flow," *Proceedings of SPIE*, Vol.3024, pp.1360-1369, 1997.
- [5] J. D. Kim and S. K. Mitra, "A local relaxation method for optical flow estimation," *Signal Process. Image Commun.*, Vol.11, No.1, pp.21-38, 1997.
- [6] T. S. Denny and J. L. Prince, "Optimal brightness functions for optical flow estimation of deformable motion," *IEEE trans. on Image Processing*, Vol.3, No.2, pp.178-191, March 1994.
- [7] W. Enkelmann, "Investigations of multigrid algorithms for the estimation of optical flow fields in image sequence," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol.43, pp.150-177, 1998.
- [8] Jong Dae Kim, "Stable multi-grid method for optical flow estimation," *IEICE trans.inf.& syst.*, Vol.e87-d, No.1, pp.2513-2516, November 2004.