

움직임 추정 보정을 이용한 잡음 제거 및 디인터레이싱 기법

정재한, 양승준

삼성 전자 Digital Media 연구소 Video Lab.

전화 : 031-200-9306 / 팩스 : 031-200-3144

Noise reduction and De-interlacing with motion vector validation

Jae-Han Jung, Seungjoon Yang

Video Lab., Digital Media R&D Center, Samsung Electronics CO., LTD.

E-mail : jaehan.jung@samsung.com

Abstract

This paper presents a method to find motion vectors that are closer to true motion with noisy images for simultaneous noise reduction and de-interlacing. The proposed method requires four interlaced field images: one noisy field image and three field images from which noise is already removed. The validation of motion provides accurate motion vectors and allows us to utilize them even in very noisy environment. The validated motion vectors are first used for the noise reduction, buffered and used later for the noise reduction and de-interlacing.

I. 서론

영상의 화질에 영향을 끼치는 잡음은 영상의 입력, 전송 및 출력 과정에서 발생하며 궁극적으로 많은 문제를 발생시킨다. 기본적으로는 영상 자체가 눈에 거슬리게 되어 감상에 불편을 초래하고 또한 영상이 압축될 경우 엔트로피를 증가시켜 이로 인해 대역폭을 낭비하는 현상을 발생시키게 된다. 특히 이와 같은 이유와 더불어 디지털 방송 환경의 도래와 소비자의 고화질 영상에 대한 욕구 증가는 잡음 제거의 필요성을 더욱 요구하고 있다 [1]. 디인터레이싱(de-interlacing)은 비월주사 방식(Interlaced)의 영상을 순차주사 방식(Progressive)의 영상으로 변환하는 기법으로 비월주사 방식에 기인한 여러 가지 시각적인 문제점들을 제거하기 위한 기법으로 사용된다.

최근에는 움직임 보상(Motion compensation)에 의한 기법들이 연구되고 있으며, 이 방법들은 움직임 궤적(Trajectory)을 따라서 보간이 이루어진다[2][3][4]. 움직임 보상에 의한 기법은 움직임이 발생한 영역에서 뛰어난 성능을 보이나 움직임 보상을 사용한 기법에서는 구현의 복잡도 때문에 일반적으로 움직임 추정(Motion estimation)을 위해서 블록 단위의 움직임 벡

터를 사용하게 된다. 본 논문은 이러한 움직임 추정 보정 기법을 적용시키고 잡음 제거와 디인터레이싱을 서로 유기적으로 적용하여 시스템의 성능을 향상시킨다. 마지막으로 풀다운(Pull-down) 방식의 필름 디인터레이싱에도 적용이 된다.

본 논문의 내용은 다음과 같다. II장 A에서는 알고리즘 전반에 대한 요약이고, B에서는 움직임 추정 보정 기법, C에서는 잡음 레벨의 측정, D에서는 잡음 제거, E에서 디인터레이싱, F에서 필름 디인터레이싱에 대해서 설명한다. III장에서는 제안한 방법에 대한 몇 가지 실험 결과를 통해 성능 분석을 하고, 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안하는 움직임 추정 보정에 의한 잡음 제거 및 디인터레이싱

A. 전체 알고리즘

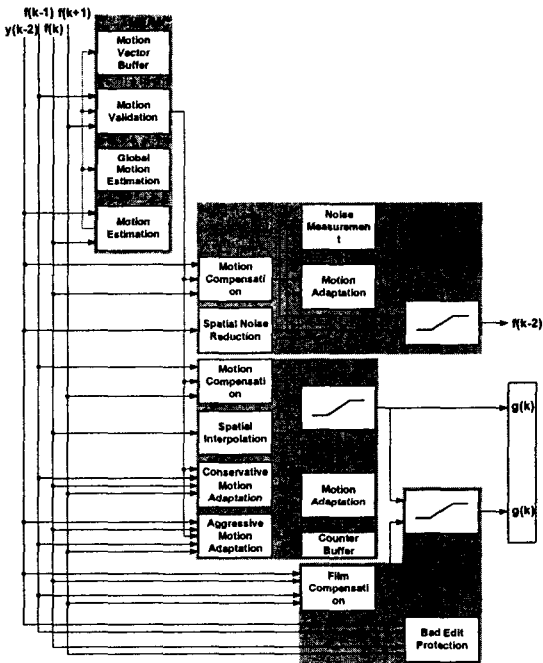
필드 영상 신호에서 k번째 입력 영상에 대해서 (i, j)에 위치하는 화소에 대해서 비월 주사 방식과 순행 주사 방식의 영상 신호를 각각 $f(i, j, k)$, $g(i, j, k)$ 로 정의한다.

$$f(i, j, k) = \begin{cases} g(i, j, k), & \text{for } i\%2 = k\%2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(1)$$

% 는 나눗셈의 나머지 값을 나타낸다.
영상 신호의 전송과정에서 실리는 잡음은 가우시안 (Gaussian) 형태로 가정한다. 잡음이 제거 된 영상을 입력 잡음 영상 신호에 대해 움직임 보상을 하여 \hat{f} 영상을 재구성하고 순행 주사 영상에 대해서도 같은 방법으로 \hat{g} 영상을 재구성하여 잡음 제거와 디인터레이싱, 필름 디인터레이싱을 다음과 같이 적용한다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(k-2) &= NR(\hat{f}(k), y(k-2)) \\ \hat{g}(k) &= IPC(\hat{f}(k+1), \hat{f}(k), \hat{f}(k-1)) \\ \hat{g}(k) &= FRC(\hat{f}(k+1), \hat{f}(k), \hat{f}(k-1), y(k-2)) \end{aligned} \quad \dots(2)$$

입력 4개 필드 영상 신호에 대해 $y(k-2)$ 는 잡음 영상 신호이며, $\hat{f}(k+1), \hat{f}(k), \hat{f}(k-1)$ 는 잡음이 제거된 영상 신호이다.



<그림 1> 전체 블록도

B. 움직임 추정 보정 기법

움직임 보상 기법을 이용하여 잡음 제거를 함으로써 디인터레이싱 결과의 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있다. 일반적인 잡음 정도가 작은 신호에서 움직임 보상 기법을 이용한 잡음 제거는 효과적인 성능을 보이지만 많은 양의 잡음

신호에서는 움직임 추정이 정확하게 이루어지지 않기 때문에 잡음 제거의 성능이 낮다.

따라서 많은 잡음 신호 환경에서도 정확한 움직임 추정이 필요하다. 제안한 기법은 움직임에 대한 정보가 각 영상 신호 필드에 대해 연관성이 있다는 것을 이용하여 움직임 추정을 보정한다.

$y(k-2)$ 와 $\hat{f}(k)$ 영상 신호에서 움직임 벡터는 8x8 크기의 블록 단위로 추출되며 한 필드의 (m, n)번째 블록에서 움직임 벡터 $V=[v_x, v_y]^T$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\Phi(m, n, k; v) = \sum_{(i, j) \in P(m, n, k)} |f(i+v, j+v, k) - y(i, j, k-2)| \quad \dots(3)$$

$\beta(m, n, k)$ 는 k번째 입력 영상에서 (m, n)번째 매크로 블록(Macro block)을 나타낸다. 이때 움직임 벡터는 절대값 차이의 합이 최소가 되는 위치에서 정해진다.

$$\hat{V}(m, n, k) = \arg \min_{v \in S} \Phi(m, n, k; v) \quad \dots(4)$$

움직임 벡터 추출을 위한 검색 영역 S는 식(5)과 같다.

$$S = \{(v_x, v_y) | v_x = [-sr_x, sr_x], v_x \% 2 = 0, v_y = [-sr_y, sr_y]\} \quad (5)$$

이러한 과정으로 \hat{f} 와 $y(k-2)$ 에서 추출된 움직임 벡터는 잡음에 의한 영향으로 정확한 움직임 추정이 이루어지지 않기 때문에 잡음이 제거된 $f(k-1)$ 와 $f(k+1)$ 의 필드 쌍으로부터 움직임 벡터 보정을 해야 한다. 이때 하드웨어를 고려하여 다른 필드 쌍에서 영상 전체적으로 움직임 추정을 하는 것이 아니라 대표적 움직임 벡터 6개에 대해서만 계산을 하여 보정하게 된다. 움직임 벡터 보정에 사용되는 벡터는 원래 추출한 움직임 벡터, 추출된 움직임 벡터 블록의 같은 위치에서 주위의 블록들, 이전 필드 영상 신호의 움직임 벡터들에 대해서 히스토그램화하여 최대 값을 구한 글로벌 벡터($v_g(k)$) 의 6개 벡터 정보를 이용하여 보정을 하게 된다.

$$C(m, n, k) = \{v(m, n-1, k), v(m-1, n-1, k), v(m-1, n, k), v(m-1, n+1, k), v_g(k-1)\}$$

$$v_g(k) = \arg \max_v p(v, k) \quad \dots(6)$$

$p(v, k)$ 는 움직임 벡터의 히스토그램이다.

C. 잡음 레벨의 측정

잡음 제거가 되고 움직임 보상된 영상과 입력 잡음 영상의 픽셀 간의 차를 이용하여 잡음 레벨을 구하게 되는데 측정값의 정확성을 위해서 고려해야 할 사항이 있다. 움직임 보상이 수행된 영상에는 움직임 벡터 오차가 있기 때문에 이러한 화소에 대해서는 잡음 측정에 있어서 제외시켜야

한다. $y(k-2)$ 의 잡음 영상 신호로부터 공간 필터를 하고 잡음의 특성을 구별하여 \hat{f} 영상에서 움직임 벡터 오차가 있는 영역을 제외시킨다.

$$f_{SF}(i, j, k) - offset < \hat{f} < f_{SF}(i, j, k) + offset \quad \dots(7)$$

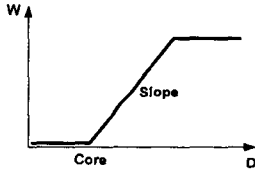
$offset$ 은 측정된 잡음 레벨 값으로부터 설정이 된다.

D. 잡음 제거

움직임 추정 보정 기법으로 움직임 벡터를 추출하고 현재 입력 영상 신호에 대해서 재구성한 영상 $y_{mc}(i, j, k-2)$ 은 다음과 같이 구한다.

$$y_{mc}(i, j, k-2) = (\hat{f}(i + \tilde{v}_i(m, n), j + \tilde{v}_j(m, n), k-2) + y(i, j, k)) / 2 \quad \dots(8)$$

잡음 제거 기법은 일반적인 시간 필터인 IIR(infinite impulse response)방식을 사용하는데 가중치는 다음과 같은 그래프로 대용이 된다.



<그림 2> 시간 필터 가중치 그래프

코어 값(Core)과 경사 값(Slope)은 측정된 잡음 레벨에 따라서 변동적인 값을 가지게 되는데 코어 값은 잡음의 레벨에 대응이 되고 경사 값은 잡음 정도에 따라서 기울기가 변화한다. 즉, 잡음 정도가 많아지면 기울기가 커져서 가중치가 커지고 잡음 정도가 작아지면 그 반대가 된다. 가중치 w 는 $w_n(i, j)$ 으로 나타내며 다음과 같이 계산된다.

$$w_n(i, j) = \max\{\min\{\gamma \cdot |y_{mc}(i, j, k-2) - y(i, j, k-2)| - c_n, r\}, 0\} \quad \dots(9)$$

각각의 파라미터는 r 은 비트량, γ 는 상수, c_n 은 코어링(coring)을 나타낸다. 이때, 코어링 상수는 측정된 잡음 레벨 값 $\hat{\sigma}_n$ 에 의해서 변화하는 값이다. 식(9)에서의 가중치를 적응적 시간 필터(IIR filter)에 적용시켜서 잡음 제거를 하게 된다.

$$\hat{f}_i(i, j, k-2) = (w_n(i, j) \cdot y_{mc}(i, j, k-2) + (r - w_n(i, j)) \cdot y_{sp}(i, j, k-2)) / r \quad \dots(10)$$

$(i, j) \in \beta(m, n, k)$ 이며 $y_{sp}(i, j, k-2)$ 는 공간 필터를 이용하여 잡음 제거를 한 영상 신호이다. 여기서 공간 필터는

1-2-1 가우시안 필터를 사용하였다.

움직임 추정 보정으로 현재 영상 잡음 신호를 재구성하고 공간 필터를 이용하여 필터링 한 후 시간 필터로 잡음이 제거된 영상은 디인터레이싱에 사용된다.

E. 디인터레이싱

$f(k-1)$ 와 $f(k+1)$ 의 영상 신호에서 추출되는 움직임 벡터들은 버퍼에 저장이 되고 디인터레이싱 되어 $g(k)$ 영상 신호를 복원하게 된다. 움직임 보상된 영상 신호는 식(11)와 같다.

$$y_{mc}(i, j, k) = (\hat{f}(i + \tilde{v}_i(m, n) / 2, j + \tilde{v}_j(m, n) / 2, k+1) + \hat{f}(i - \tilde{v}_i(m, n) / 2, j - \tilde{v}_j(m, n) / 2, k-1)) / 2 \quad \dots(11)$$

$\tilde{v}_i / 2$ 화소는 필드 영상 신호에서 없는 위치의 값이다. 디인터레이싱에서는 두 가지의 움직임 정보를 이용하게 되는데 첫 번째는 세 개의 다른 필드 정보를 이용한 보수적(Conservative) 움직임 정보이고, 두 번째는 같은 필드 두 개의 정보를 이용한 활동적(Aggressive) 움직임 정보이다. 위의 두 가지 움직임 정보를 이용하여 두 개의 가중치를 구하게 된다. 첫 번째 가중치는 같은 필드 쌍과 움직임 보상된 영상 신호 세 개의 영상 신호로 구하게 된다.

$$w_c(i, j) = \phi_c(\hat{f}(i-1, j, k), \hat{f}(i+1, j, k), y_{mc}(i, j, k)) \quad \dots(12)$$

ϕ_c 는 $[0, r]$ 의 범위에서 비선형 함수를 나타낸다. 두 번째 가중치는 같은 필드 쌍의 두 개의 영상 신호로 구하게 된다.

$$w_a(i, j) = \phi_a(\hat{f}(i + \tilde{v}_i(m, n) / 2, j + \tilde{v}_j(m, n) / 2, k+1), \hat{f}(i - \tilde{v}_i(m, n) / 2, j + \tilde{v}_j(m, n) / 2, k-1)) \quad \dots(13)$$

ϕ_a 는 $[0, r]$ 의 범위에서 비선형 함수를 나타낸다. 보수적 움직임 정보로 정해지는 가중치는 현재 영상 신호 $\hat{f}(k)$ 에서 움직임 영역에 대해서 생길 수 있는 열화 현상(Artifact, Feather)을 제거하는데 사용되고, 활동적 움직임 정보로 정해지는 가중치는 $f(k-1)$ 와 $f(k+1)$ 의 영상 신호에서 플리커(Flicker) 현상이나 움직임이 큰 곳에서의 열화 현상을 제거한다.

위의 두 가지 가중치 정보를 이용하면 다양한 영역과 움직임 정보에 대해서 적응성이 커진다. 이때, 카운터를 이용하여 움직임에 대한 정도를 파악하고 카운터와 보수적 움직임 정보 가중치를 이용하여 최종의 디인터레이싱 가중치를 정하게 된다.

$$w_d(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{if } c(i, j, k) = c_{\max} \\ w_c(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(14)$$

식(14)의 가중치를 이용한 디인터레이싱은 다음과 같다.

$$\hat{g}(i, j, k) = \begin{cases} (w_d(i, j) \cdot y_{sp}(i, j, k) + (r - w_d(i, j)) \cdot y_{mc}(i, j, k)) / r, & \text{for } (i, j) \in \beta^c(m, n, k) \\ \hat{f}(i, j, k), & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(15)$$

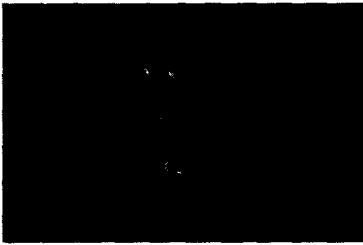
$y_{sp}(i, j, k)$ 는 공간적 보간 기법을 이용한 영상 신호이다.

F. 필름 디인터레이싱

24Hz의 영상 시퀀스 신호가 50Hz 또는 60Hz의 주파수 환경에서 디스플레이되는 경우 풀업(Pull-Up)하면서 Bad Edit과 같은 현상이 생길 수 있는데 이런 현상은 버퍼에 저장된 움직임 벡터들의 적응적 가중치 평균을 이용하여 제거 할 수 있다.

III. 실험 결과

<그림 4>는 인위적 잡음 레벨에서 움직임 추정 보정 알고리즘을 이용하여 잡음 제거를 한 영상이다.

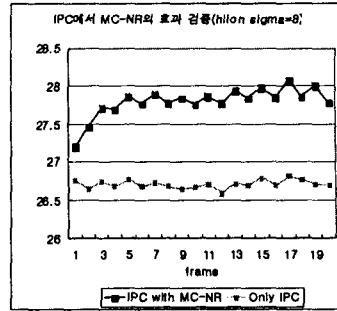


<그림 3> 인위적 잡음이 있는 영상, sigma=8



<그림 4> 잡음 제거를 수행한 영상, sigma=8

<그림 5>는 잡음을 제거한 영상 신호로부터 디인터레이싱한 결과(위의 붉은 점)와 잡음 영상 신호에서 디인터레이싱을 수행한 결과(아래 작은 점)를 PSNR로 비교하여 나타낸다.



<그림 5> 잡음 제거 유,무에 따른 디인터레이싱 차이

IV. 결과

본 논문에서 제안한 기법은 움직임 추정에서 추출되는 움직임 벡터를 보정하여 정확한 움직임 보상이 수행되도록 하여 잡음 제거 및 디인터레이싱 기법에 적용하는 알고리즘이다. 실제 TV 영상 신호 방식을 가정하였으며 제안 기법에 포함된 여러 가지 방법들도 서로 유기적으로 적용되어 좋은 성능을 보인다.

참고 문헌

- [1] J. C. Brailean, R. P. Kleihorst, S. Efstratiadis, A. K. Katsaggelos, and R. L. Lagendijk, "Noise reduction filters for dynamic image sequences: A review," *Proc. IEEE*, vol. 83, no. 9, pp. 1272-1292, Sept. 1995.
- [2] F.M. Wang, and D. Anastassiou, and A. N. Netravali, "Time-recursive deinterlacing for IDTV and pyramid coding," *Signal Process. : Image Commun.* 2, pp. 365-374, 1990.
- [3] K.J. Sugiyama, and H.Y. Nakamura, "A Method of De-Interlacing with Motion Compensated Interpolation," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 45, no. 3, pp. 611-616, Aug. 1999.
- [4] R. Li, B. Zeng and M.L. Liou, "Reliable motion detection/compensation for interlaced sequences and its applications to deinterlacing," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 23-29, Feb. 2000.