

## 영상 데이터 압축을 위한 Temporal Filter의 구성

正會員 金 鍾 勳\* 正會員 金 成 大\*\*

## Temporal Filter for Image Data Compression

Jong Hun Kim\*, Seong Dae Kim\*\* *Regular Members*

## 요 약

본 논문에서는 기존의 잡음 제거용 순환 filter와 달리 시간축 대역제한을 통해 시각특성의 개선과 영상 데이터 압축 효과를 개선시키는데 그 목적을 두고 있다. 일반적으로 시간축 대역제한을 수행하려면 시간 방향으로의 aliasing을 고려해야 한다. 신호 처리 관점에서 보면 신호에 aliasing이 생긴다면 이의 영향을 받지않고 (de-aliasing) filtering하는 것은 불가능하다고 알려져 있다. 그러나 영상신호에서는 baseband spectrum 구조를 예측할 수 있고, 이를 토대로 aliasing의 영향을 받지않는 대역제한 방안을 생각할 수 있다. 이는 이동벡터의 궤적을 따라 공간 영역에서 대역제한(Motion Adaptive Spatial Filter)을 하는 것으로서 이들의 특성 및 구성방안을 제안한다. 이렇게 구성된 filter는 aliasing의 제거 뿐만아니라 시간축 잡음의 제거에도 기여를 하게된다. 실험에서는 제안방법의 de-aliasing 특성과 영상부호화기로의 적용결과를 알아본다.

## ABSTRACT

Unlike a noise removal recursive temporal filter, this paper presents a temporal filter which improves visual quality and data compression efficiency. In general, for the temporal band-limitation, temporal aliasing should be considered. Since most of a video signal has temporally aliased components, it is desirable to consider them. From a signal processing point of view, it is impossible to realize the filtering not affected by the aliasings. However, in this paper, efficient filtering with de-aliasing characteristics is proposed. Considering the location of a video signal, temporal filtering can be accomplished by the spatial filtering along the motion vector trajectory (Motion Adaptive Spatial Filter). This filtered result does not include the aliasings. Besides the efficient band-limitation, temporal noise is also reduced. For the evaluation of the MASF, its realization and filtering characteristics will be discussed in detail.

\*大宇電子 영상연구소

\*\*韓國科學技術院 電氣·電子工學科

Dept. of Electrical and Electronics Eng., KAIST

論文番號 : 93-166

## I. 서 론

Temporal filter는 주어진 channel을 통해 저전송율로 데이터를 전송하기 위한 방편으로 이용된다. 지금까지 연구된 temporal filter들은 시간축 방향이나 시간의 변화에 따른 이동벡터의 궤적을 따라 잡음 제거용 순환 filtering을 따라왔다<sup>[1]</sup>. 이와달리 본 논문에서는 저대역 temporal filter를 구성하여 시간축 잡음의 제거뿐만아니라 시각특성을 개선시키고 데이터 압축성능을 개선시키는데 중점을 두고있다. 사실상 temporal noise란 시간축 방향으로의 고주파 성분으로 간주할 수 있기 때문에 저대역 temporal filter를 이용하면 손쉽게 제거할 수 있다.

저대역 temporal filter를 구성하기 위해서는 연속영상의 spectrum 특성을 고찰해야 한다. 일반적으로 이동성분이 포함된 영상의 spectrum 분포를 보면 시간축으로 반복 spectra간에 aliasing이 생긴다. 이러한 분포에 대하여 시간축 대역제한을 수행하면 temporal aliasing 성분이 출력 결과에 포함될 수 있기 때문에 바람직한 방법이라고 할 수 없다. 그리고 이렇게 포함된 aliasing 성분은 눈에 시각장애를 야기시킨다.

본 논문은 temporal aliasing의 영향을 받지않고 효과적인 대역제한을 하는 방법에 관심을 두고 있으며, 이를 위하여 이동성분에 대하여 강제-등속-병진운동을 한다고 가정하였다. 이러한 가정을 따르면 영상의 baseband spectrum 위치를 예측할 수 있으며 반복 spectra간의 spectrum folding(aliasing) 현상을 관찰할 수 있다<sup>[2]</sup>. 또한 이동성분을 이용한 spatial filter를 이용하면(Motion Adaptive Spatial Filter : MASF) aliasing의 영향을 받지 않는 시간축 대역제한을 관찰할 수 있다. 이러한 결과에 따라 MASF의 구성방안을 알아본다. 그리고 aliasing의 영향을 받지 않는 특성(dealiasing)에 근거하여 대역제한된 연속영상에 대한 데이터 압축특성을 알아본다.

논문의 구성을 살펴보면 II장에서는 기존의 잡음 제거용 순환 filter에 대하여 간단히 살펴본다. 그후 III장에서 연속영상의 baseband spectrum 특성을 알아보고, 시간축 대역제한으로 생길 수 있는 aliasing 현상을 관찰한다. 그리고 IV장에서는 제안방법의 특징 및 구성방법 대하여 설명한다. 실험 결과는 V장에 나타낸다. 즉, MASF의 de-aliasing 특성을 실험현상을 이용하여 관찰한다. 또한 이동보상 예측기에 적용했을때 데이터 압축특성을 원시 연속영상과 비교하

여 설명한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 내린다.

## II. 잡음 제거용 순환 filter

이론에서 언급하였던 것처럼 대부분의 temporal filter는 시간축 잡음의 제거를 위하여 이용되어 왔다. 이것은 잡음을 제거시키기 때문에 영상의 통계적인 특성 및 화질을 개선시킨다. 즉 시간축 방향으로 상관도를 증가시켜 영상 부호화기의 데이터 압축 성능을 높이기 위한 선적리 filter로 이용된다.

Temporal filter는 기본적으로 시간축 순환 filtering을 이용하며 크게 2가지의 방법으로 구분된다. 첫째 방법은 단순히 시간축 방향의 pixel들을 이용하여 1차 HR filtering을 하는 것이다. 이는 W.H. Chen 등이 제안한 것으로 다음과 같은 식으로 표현된다<sup>[3]</sup>.

$$g(x, n) = \alpha f(x, n) + (1-\alpha)g(x, n-1), \quad (1)$$

여기서  $g(\cdot)$ 는 출력 결과이고  $f(\cdot)$ 는 입력 영상신호이다. 그리고  $\alpha$ 는 평균치를 취하기 위한 계수이다. 이 방법은 인간의 시각 시스템이 이동 영역에서의 blurring에 민감하지 않다는 사실을 근거로 시간축 pixel간의 평균치를 취하는 것이다.

W.H. Chen등은 식(1)을 근거로 통계적인 특성을 분석하였으며 interframe coder에 적용했을 때 성능 개선효과를 언급하였다. 그러나 이 방법을 따르면, 영상내의 이동성분이 존재 식(1) 자체가 연속 frame간의 가중 평균(weighted average)이기 때문에 ghost의 유사한 영상이 생길 수 있다(ghost like double vision image). 이는 temporal aliasing에 의한 영향으로 시각 장애를 야기시킨다. 그러므로 잡음을 제거시키더라도 이와같은 특성은 나타나지 않도록 하는 것이 바람직하다.

둘째방법은 앞의 방식을 이동 적응형으로 바꾼 형태이다. 일반적으로 이동벡터 방향으로 pixel간의 유사성을 배운다. 그러므로 이동벡터 궤적을 따라 시간축 평면을 순환영으로 수행할 수 있다. 이에 근거한 filter는 다음과 같다<sup>[4]</sup>.

$$g(x, n) = \alpha(e)f(x, n) + (1-\alpha(e))\hat{g}(x-\hat{d}(x, n), n-1) \quad (2)$$

여기서  $\hat{d}$ 는 실제 이동성분  $d$ 에 대한 추정값이고  $\hat{g}$ 는 공간상 내삽 (spatial interpolation)으로 구성된 non grid pixel값이다. 그리고  $\alpha(e)$ 는 nonlinear 계수

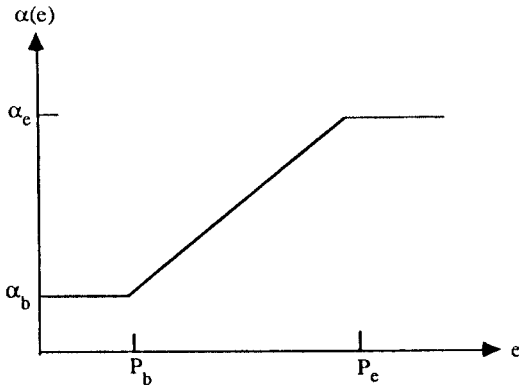


그림 1. 계수의 nonlinear 특성  
Fig 1. Nonlinear characteristics of coefficient

로서 예측오차  $f - \hat{f}$ 에 따라 변한다.  $\alpha(c)$ 의 특성을 그림1에 나타내었다.

$\alpha(c)$ 의 특성을 보면 이동벡터가 잘못 찾아지더라도 가중 평균치를 적절히 조절하기 때문에 영상에는 커다란 영향을 미치지 않는다. 그리고 올바르게 찾아진 위치에서는 잡음제거효과가 향상된다. 그러나 이 방법에서도 첫째 방법과 마찬가지로 잡음 제거효과는 좋으나 시간축 방향의 대역제한 효과가 미약하기 때문에 spectrum 상의 aliasing은 제거시키기가 어렵다. 즉 빠른 속도로 움직이는 영역에서 motion judder와 같은 현상이 나타나 시각 장애를 야기 시킨다.

### III. 시간축 방향의 대역제한

시간축 방향의 대역제한 방법을 알아보기 위하여 연속영상의 spectrum 분포에 대하여 먼저 살펴본다. 그리고 대역제한 결과에 포함된 aliasing 성분이 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기로 한다.

#### 1. 연속영상의 3차원 spectrum

영상신호는 수평-수직-시간방향의 성분을 갖는 3차원 신호라고 할 수 있다. 만일  $f_3(\cdot)$ 를 3차원 성분의 analog 신호라 하고, 이동성분이 강체-등속-병진운동을 한다고 하자. 그러면  $f_3(\cdot)$ 는 다음과 같이 표현된다<sup>4)</sup>.

$$f_3(x, y, t) = f_2(x - v_x t, y - v_y t) \quad (3)$$

윗식은 2차원 신호  $f_2(\cdot)$ 의 시간에 따른 이동관계로서, 이의 Fourier transform은 다음과 같다.

$$F_3(f_x, f_y, f_t) = F_2(f_x, f_y) \cdot \delta(f_x v_x + f_y v_y + f_t) \quad (4)$$

여기서  $\delta(\cdot)$ 는  $f_x v_x + f_y v_y + f_t = 0$ 에 의하여 묘사되는 3차원 주파수 영역으로, baseband spectrum은 평면상에 존재함을 의미한다.

식(4)는 연속 신호원에 대한 결과이다. 실질적으로 우리가 이용하는 데이터는 3차원으로 sampling된 pixel들이기 때문에 이런 신호의 Fourier transform 관계를 표현할 필요가 있다. Sampling된 신호의 spectrum은 식(4)와 delta 함수와의 convolution으로 묘사된다<sup>4)</sup>. 즉,

$$F_3^s(f_x, f_y, f_t) = F_3(f_x, f_y, f_t) * D(f_x, f_y, f_t) \quad (5)$$

$$D(f_x, f_y, f_t) = \sum_{k_x} \sum_{k_y} \sum_{k_t} \delta(f_x - k_x, f_y - k_y, f_t - k_t)$$

이다. 여기서  $k_x, k_y, k_t$ 는 수평, 수직, 시간방향의 sampling 주파수이다. 그리고  $\sum$ 의 구간은  $-\infty$ 에서  $+\infty$ 이다. 식(4), (5)를 살펴보면 속도량의 크기에 따라 반복 spectra 간에 spectrum folding이 생김을 알 수 있다. 만일 반복 spectra 간에 aliasing이 생긴다면, 시각장애(예: motion judder)를 야기시킬 수도 있다. 특히 공간 고주파 성분(spatial high frequency)이 많이 포함된 이동 영역에서 시각 특성이 떨어지게 된다.

#### 2. Temporal 대역 제한의 영향

앞서 언급한 것처럼 이동속도가 클수록 반복 spectra 간에 aliasing이 생기게 된다. 이런 경우의 대역제한 특성에 대하여 알아보기로 한다. 먼저 대역제한 특성의 이해를 돕기 위하여 이동성분에 대한 가정 이외에 2가지 가정을 한다. 첫째, 공간 영역상에서는 aliasing이 생기지 않는다. 그리고 둘째로는 속도 성분이 순수한 수평 성분만으로 구성된다.

위의 가정에 따라 시간축 방향의 pixel들을 이용하여 대역제한한 결과를 그림2에 나타내었다. 속도의 변화에 따라 baseband spectrum이 기울어진 평면상에 존재하고, 특히 공간상의 고주파 성분일수록 시간상의 고주파 성분으로 되기 때문에 이들이 aliasing 성분으로 되기가 쉽다. 이는 연속 display일때 공간

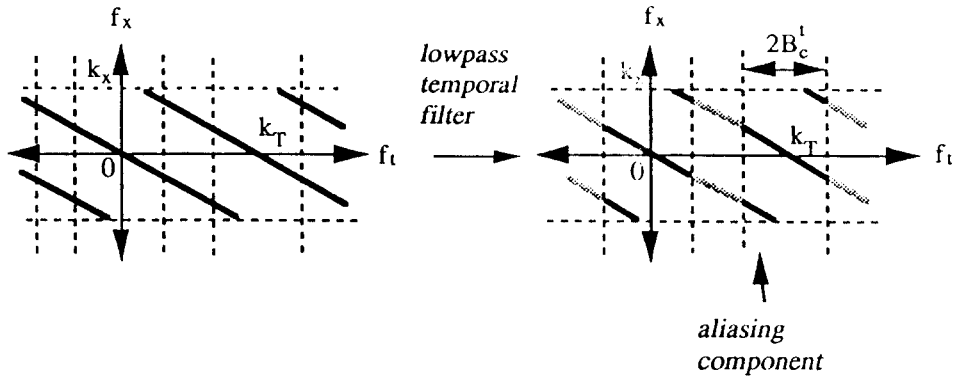


그림 2. 시간축 sample들에 근거한 대역제한  
 Fig 2. Band limitation based on temporal domain samples

상의 고주파-저주파 성분간의 교란으로 나타나, 실제 속도와 동일한 속도감을 느낄 수 없게된다.

Temporal aliasing의 영향을 줄이기 위하여 크게 2가지 방법을 생각할 수 있다. 첫째 방법은 공간영역 상에서 대역제한을 하는 것이다. 공간상의 고주파 성분일수록 시간상의 고주파 성분이 되기때문에 공간적대역 filtering(spatial lowpass filtering)은 aliasing의 영향을 줄이는데 크게 기여를 한다. 그러나 이는 많은양의 공간정보를 잃어 버릴 수 있으므로 바람직한 방법이라고 할 수 없다. 둘째 방법은 이동속도에 비하여 매우 큰 비율로 temporal sampling을 버리하는 것이다. 즉 temporal sampling 주파수가 매우 크다면 속도가 커지더라도 반복 spectra간에 aliasing이 생기기는 매우 어렵다. 그러나 주어진 데이터가 이미 sampling된 데이터라면 temporal sampling rate conversion을 통하여 sampling rate를 높여야

한다. 그러나 sampling rate conversion은 up-down conversion등의 복잡한 과정을 따라야 하기 때문에, 이 보다 나은 보다 간결하고 체계적인 방법이 필요하다. 이에 대하여 알아보기로 한다.

IV. 이동 적응 공간 filter (MASF)

Baseband spectrum의 위치와 이동속도의 관계를 이용하면 공간 filter로도 시간축 대역제한과 동일한 효과를 낼 수 있다. 즉, 시간축 차단 주파수에 해당하는 공간축 차단 주파수를 이용하여 공간 filtering을 수행하면 동일한 결과를 얻게된다.

공간 영역에서의 시간축 대역제한 관계를 그림3에 나타내었다. Baseband spectrum은 속도( $v_x$ )에 따라 기울어진 평면( $f_x v_x + f_t = 0$ )에 존재한다. 그러므로 시간축 차단 주파수  $B_c^t$ 가 주어진다면 공간 차단 주

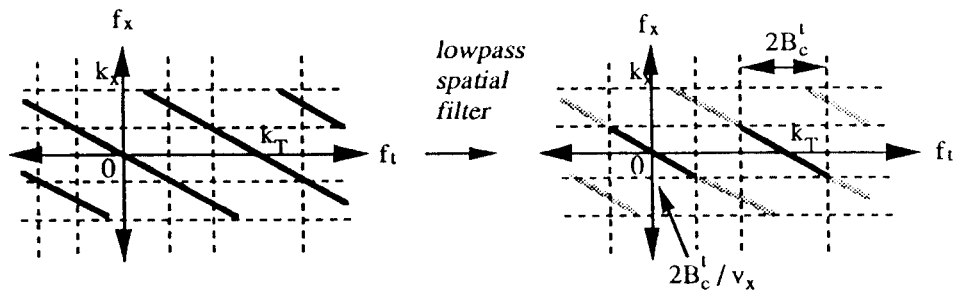


그림 3. 이동 적응 공간 filter에 의한 대역제한  
 Fig 3. Band-limitation based on Motion Adaptive Spatial Filter

파수는  $B_c^t/v_x$ 이 된다. 이러한 차단 주파수에 따라 공간상에서 대역제한을 수행하면 시간축으로 올바르게 대역제한된 결과를 얻을 수 있다. 그런데 대역제한된 결과에는 aliasing 성분이 포함되지 않는다. 즉 대역제한을 하더라도 그결과는 공간상의 고주파 성분에 대한 감쇄효과로만 나타나 효과적인 대역제한 결과라고 할 수 있다. 또한 Nyquist rate에 알맞게 임의의 대역제한 특성을 갖도록 filtering을 할 수 있다.

지금까지 언급한 내용은 1차원 속도 성분만을 가질 때로서 이를 2차원으로라도 확장시킬 수 있다. 이때의 시간축 대역제한은 이동벡터의 궤적을 따라 공간 영역상에서 대역제한을 하는 것과 동일하다. 이동성분 ( $v_x, v_y$ )에 적용된 공간상의 차단주파수는 다음과 같이 표현된다.

$$f_{cutoff}^s = \frac{1}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \cdot f_{cutoff}^t \quad (6)$$

식(6)의 관계를 그림4에 나타내었다.

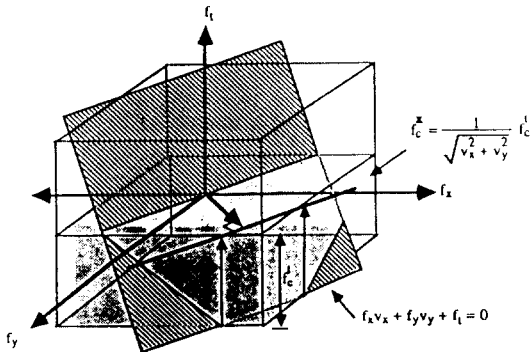


그림 4. 이동 적응 공간 filter의 2차원 특성  
Fig 4. Characteristics of Motion Adaptive Spatial Filter (2D case).

MASF를 이용하면 temporal aliasing의 영향을 받지 않고 시간축 대역제한을 할 수 있다. 그러면 이의 구성 방안에 대하여 알아보기로 한다. 먼저  $h(\cdot)$ 를 시간축 저대역 filter의 impulse 응답이라하면,  $f(\cdot)$ 의 temporal filtering은

$$g(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \cdot f(x, t-\tau) d\tau \quad (7)$$

으로 표현된다.  $h(\cdot)$ 는 linear phase filter이다. 만일  $f(\cdot)$ 가 속도  $v_x$ 를 가진다면,

$$f(x, t-\tau) = f(x, v_x \tau, t) \quad (8)$$

이고, 이를 식(7)에 대입하면

$$g(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \cdot f(x - v_x \tau, t) d\tau \quad (9)$$

이다. 이는 식(7)에 대한 공간 filter의 형태로서 이의 대역제한 특성을 알아보기 위하여 Fourier transform을 수행한다.

$$\begin{aligned} G(f_x, f_t) &= F\left\{ \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \cdot f(x - v_x \tau, t) d\tau \right\} \\ &= F\left\{ \int_{-\infty}^{\infty} h\left(\frac{z}{v_x}\right) \cdot \frac{1}{v_x} \cdot f(x - z, t) dz \right\} \\ &= H(f_x v_x) \cdot F(f_x, f_t) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 F는 Fourier descriptor이다.  $H(\cdot)$ 는 시간축 방향의 대역제한 특성을 갖도록 구성되었다. 그러나 식(9)에서 치러진 filtering 영역의 전환으로 공간상의 대역제한 특성을 갖게된다. 또한 속도에 적용되기 때문에 식(6)과 같은 차단 주파수의 특성을 갖게된다. 결국 식(9)는 이동 적응 공간 filter(AMSF)라고 할 수 있다. 식(8)의 구성 방법에는 사용되는 frame갯수에 따라 2가지로 나눌 수 있다. 이에 대해 알아보기로 한다[7,8].

(1) SF 방법(Single Frame Method)

식(9)는 연속 신호원에 대한 표현으로서 discrete 형태로 표현하려면 다음의 과정을 따라야 한다. 식(9)의 적분은  $\Sigma$ 의 형태로 바꾸고 유한구간의 덧셈 꼴로 표현한다. 즉 벡터 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$g(x, n) = \sum_{k=-N}^N h(k \Delta \tau) \cdot f(x - v(x, n) \Delta \tau \cdot k, n) \quad (11)$$

여기서 filter의 길이는 유한길이로 가정하여  $2N+1$ 로 정하였다. 그리고 filtering 영역의 전환으로 생길 수 있는 공간 aliasing을 보상하기 위하여  $\Delta \tau$ 는  $|v(\cdot) \cdot \Delta \tau| \leq |\Delta x|$ 의 관계를 유지하도록 해야한다.

순간 속도  $v(\cdot)$ 는 frame간의 이동량  $D(\cdot)$ 로 표현할 수 있다.  $\Delta T$ 를 frame간의 시간간격이라 하면  $v(\cdot) \cdot \Delta T = D(\cdot)$ 이 된다. 그리고  $\Delta \tau \cdot \alpha(x, n) = \Delta T$ 의 조건에 따라  $\alpha(\cdot)$ 를 선택하여,

$$\frac{D(x, n)}{\alpha(x, n)} = d(x, n) = (d(x, n), d(y, n)) \quad (12)$$

$$|d(x, n)| = |\Delta x| = 1$$

이러면, 이 식에 의하여 식(11)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g(x, n) = \sum_k \sum_N h(k\Delta\tau) \cdot f(x - \frac{D(x, n)}{\alpha(x, n)} \cdot k, n) \quad (13)$$

윗식에서  $h(\cdot)$ 는 sampling 주파수  $(1/\Delta\tau = \alpha(\cdot)/\Delta T)$ 와 그의 차단 주파수의 비율로 결정된다. 그런데  $\alpha(\cdot)$ 는 이동량의 크기로 간주할 수 있으므로 이렇게 얻어진  $h(\cdot)$ 는 식(6)을 따르게 된다. 즉, 공간상에서 속도성분에 적용된 대역제한이 이루어진다.

식(13)은 식(9)의 discrete 표현으로서  $\alpha(\cdot)$ ,  $D(\cdot)$  등 때문에 실질적으로 filtering에 이용되는 pixel은 non-grid pixel일 가능성이 있다. 따라서 이를 고려하여 bi-linear filter를 이용한다. 이를 근기호한 자세한 표현은 다음과 같다.

$$g(x, y, n) = \sum_k \sum_N h(k) \cdot \{ (1 - \delta(x, k)) \cdot (1 - \delta(y, k)) \cdot f(x - [kd(x, n)], y - [kd(y, n)], n) + (1 - \delta(x, k)) \cdot \delta(y, k) \cdot f(x - [kd(x, n)], y - [kd(y, n)], n) + \delta(x, k) \cdot (1 - \delta(y, k)) \cdot f(x - kd(x, n)], y - [kd(y, n)], n) + \delta(x, k) \cdot \delta(y, k) \cdot f(x - [kd(x, n)], y - [kd(y, n)], n) \} \quad (14)$$

$$\delta(x, k) = |kd(x, n) - [kd(x, n)]|$$

$$\delta(y, k) = |kd(y, n) - [kd(y, n)]|$$

식에서 [ ], [ ] 등은 소숫점의 제거와 반올림을 의미한다.

### (2) MF 방법(Multiple Frame Method)

SF 방법에서는 시간방향으로의 속도 변화를 고려하지 않았다. 여기서는 이러한 변화를 고려하여, 임의의 갯수의 frame set를 이용한다. 즉, 시간 구간  $\Delta T$

(frame interval)내에서만 속도성분이 일정하다는 가정하에 식(9)를 변형시켰다.

$$g(x, t) = \sum_k \int_{t_0}^T h(k\Delta T + \tau) \cdot f(x - v(x, k\Delta T)\tau, t - k\Delta T) d\tau \quad (15)$$

여기서 이동속도와 위치는 벡터 형태로 표현하였다.

식(9)는 analog 형태의 표현이다. 이를 discrete 형태로 전환하면

$$g(x, n) = \sum_k \sum_N h(k \times M + m) \cdot f(x - v(x, (n-k)\Delta T) \cdot \frac{\Delta T}{M} \cdot m(n-k)\Delta T), \quad (16)$$

이로, 대역제한에 이용되는 frame 갯수는  $2N + 1$ 개로 정하였다.  $M$ 은 spatial aliasing의 방지를 위한 개수이다. 즉,  $|v_x(\cdot) \cdot \Delta T / M| \leq |\Delta x|$ 인 관계를 유지해야 한다. 식(16)을 살펴보면,  $v_x((n-k)\Delta T) \Delta T$ 는 frame간의 이동량  $D(x, n-k)$ 라고 할 수 있다. 그러므로  $\Delta T$ 를 1로 정규화하고  $D(x, n-k)$ 를 이용한 형태로 표현하면

$$g(x, n) = \sum_k \sum_N h(k \times M + m) \cdot f(x - D(x, n-k) \cdot \frac{m}{M}, n-k), \quad (17)$$

이다. 여기서도 SF 방법과 마찬가지로 non-grid pixel은 bi linear filter를 이용하여 추정한다.

위에서 언급한 2가지 방법의 차이는 시간축상에서 속도변화의 가정을 이용하는가에 따라 결정된다. 그러나 다음장에서도 보이겠지만, 일반적으로 이동성분의 시간축 변화율은 크지 않기 때문에 filtering결과에서 2방법이 크지 않은 차이를 보이지 않는다. 또한 filtering을 수행하기 위하여 식(14)와 (17)을 비교해 보면 계산상 및 하드웨어 측면에서도 SF 방법이 효율적이다. SF 방법을 중심으로한 MASF의 특성을 관찰하기로 한다.

## V. 실험 결과

본 장에서는 기존의 잡음 제거용 순환 filter의 출력 결과를 통하여 그의 문제점들을 열거하고, 그후 제안방식인 이동 적응 공간 filter (MASF)의 특성을

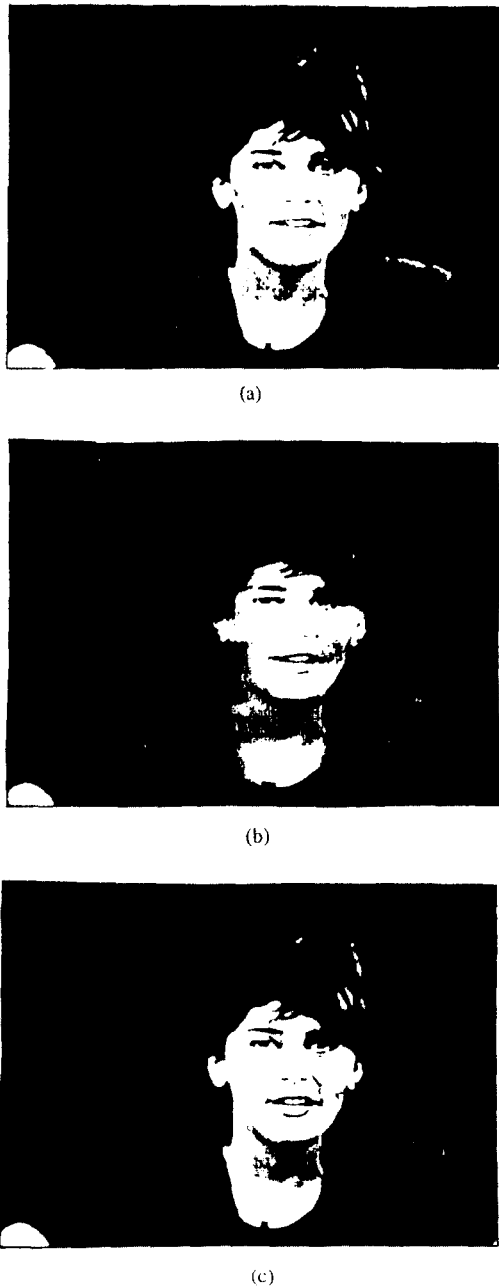


그림 5. 원시 영상 및 잡음 제거 filter에 의한 결과  
 (a) Miss america(image 81)  
 (b) W.H.Chen's method  
 (c) E.Dubois's method

Fig 5. Original frame and results of noise removal filter  
 (a) Miss america(image 81)  
 (b) W.H.Chen's method  
 (c) E.Dubois's method

살펴보기로 한다. 실험에 사용되는 실 영상은 "Miss America"로서 영상의 크기는  $352 \times 288$ 이고, frame 주파수는 30Hz이다. 이를 그림 5(a)에 나타내었다.

그림 5(b), (c)는 W.H. Chen의 방법 및 E. Dubois에 의한 이동 보상형 순환 filter의 출력 결과이다. 이때, frame 주파수는 10Hz로 가정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 W.H. Chen의 방법을 따르면 ghost가 생긴다. 반면에 이동 보상형에서는 원시 영상과 커다란 차이가 생기지 않는다. 이는 DFD(Displace Frame Difference)의 크기에 따라 가중치가 조절되기 때문이다. 이들 방법들은 I, II장에서 언급한 것처럼 filtering 후의 출력 자체에 왜곡도 생기지만, 근본적으로 시간축 대역제한 효과가 마약하므로 이동성분의 크기에 따라 생길수 있는 temporal aliasing을 줄이기 어렵다.

제한된 filter는 이러한 문제점을 극복하여 이동영역에서의 시간축 잡음 제거뿐만아니라, temporal aliasing의 영향을 받지않는 대역제한 방법이다. 이러한 de-aliasing 특성을 알아보기 위하여 filter의 주파수 응답 특성분석에 많이 이용되는 zone-plate영상을 이용하였다. Zone-plate는 중심에서 멀어질수록 고주파성분이 늘어나고 ring pattern이 수평, 수직 방향으로 반복되는 신호이다. 본 실험에서는 de-aliasing 특성을 관찰하기 위하여 반복형태는 제거시켜 연속영상을 구성하였다<sup>15)</sup>.

$$f(x, y, t) = \frac{\cos(k_x(x-D_x t)^2 + k_y(y-D_y t)^2)}{\exp(K \cdot ((x-D_x t)^2 + (y-D_y t)^2))} \quad (18)$$

여기서  $k_x, k_y$ 는 최대 공간주파수에 관계되는 계수이고,  $K$ 는 감쇄상수이다. 그리고  $(D_x, D_y)$ 는 강체-등속-병진운동에 따른 이동벡터이다. 식(18)을 이용하면 수평(x), 수직(y), 시간(t) 방향의 3차원 영상을 구성할 수 있다. 그림6에 이동성분의 변화에 따른 temporal aliasing의 특성을 나타내었다. 그림에 따르면 속도가 커질수록 aliasing 현상이 심하게 나타남을 알 수 있다.

De-aliasing 특성을 알아보기 위하여 SF 방법을 이용하였으며 그림2의 방법과 비교하였다. 속도성분이  $(v_x, v_y) = (5, 0)$  일때 적용한 결과를 그림8에 나타내었다. 이때 사용된 filter의 길이는 13이다. 그림 7(a)에 따르면 시간축 pixel들을 이용한 대역제한은 de-aliasing 특성이 없음을 관찰할 수 있다. 또한 temporal aliasing이란 시간축 고주파 성분이 저주파 영

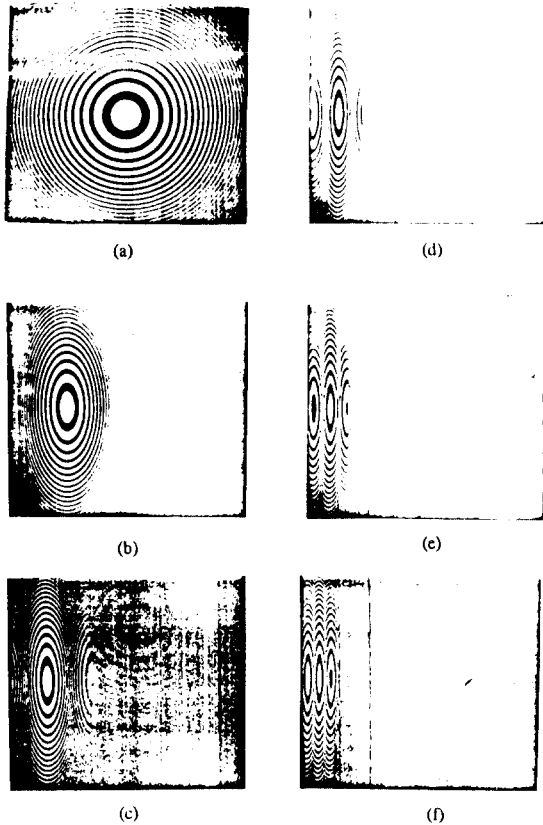


그림 6. 속도의 변화에 따른 temporal aliasing 특성  
 (a) XY plane, YT plane(수평속도 변화)  
 (b) (2, 0), (c) (3, 0) (d) (4, 0),  
 (e) (5, 0), (f) (6, 0)

Fig 6. Characteristics of temporal aliasing  
 (a) XY plane, YT plane(variations of horizontal velocity)  
 (b) (2, 0), (c) (3, 0), (d) (4, 0),  
 (e) (5, 0), (f) (6, 0)

역으로 변조된 형태라고 간주할 수 있기 때문에 공간상의 고주파 성분에는 대역제한 특성이 나타나지 않는다. 반면에 MASF는 그림 7(b)처럼 de-aliasing 특성을 갖는 효과적인 시간축 대역제한 방법이라고 할 수 있다.

IV장에서 MASF의 구성방법을 크게 2가지로 제안하였다. 그림8은 SF, MF 방법에 의한 결과이다. 이때 시간축 차단 주파수는 15Hz로서, 대역제한된 결과는 Nyquist rate에 최적으로 반복 spectra가 구성된 형태라고 할 수 있다. 그리고 SF 방법의 filter

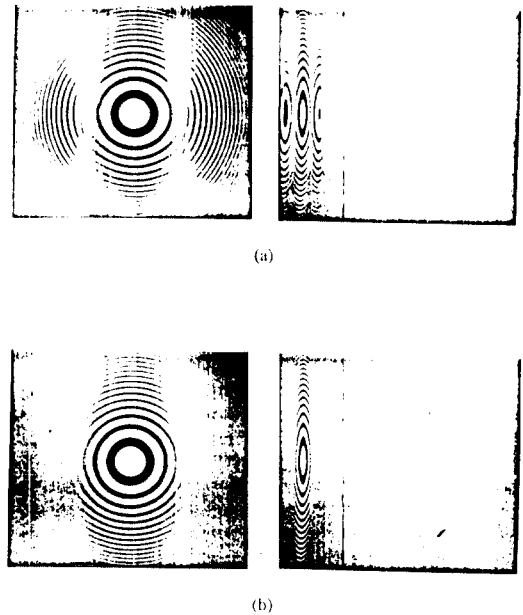


그림 7. MASF의 de-aliasing 특성  
 (a) 시간축 pixel들을 이용한 결과  
 (b) 이동 적용 공간 filter에 의한 결과  
 Fig 7. De-aliasing characteristics of MASF  
 (a) Results based on temporal domain pixels  
 (b) Results based on MASF

값이는 13이고 이동성분의 크기에 따라  $h(\cdot)$ 를 조절하였다. MF 방법에서는  $N=2, M=3$ 으로 하여 동일한 filter의 길이를 갖도록 하였다. 실험에 이용된 이동벡터는 블록정합 방법을 이용하여 추정하였다(block:  $8 \times 8$ pixels)<sup>[6]</sup>. 그림에 따르면 이동영역에서 blurring이 관찰된다. 이는 정지화면에서는 관찰되지만, 반면에 연속 display시에는 temporal aliasing(예: motion judder)에 의한 시각장애를 감소시킨다. 그런데, 두방법에 의한 출력 영상에서 큰차이를 발견하기가 어렵다. 계산상으로도 다른 복잡성을 따진다면 SF 방법이 효율적이라고 할 수 있다. 따라서 SF 방법에 의한 데이터 압축 특성을 알아본다.

그림9는 SF 방법에 의한 출력 영상간의 시간축 상관계수를 나타낸다. 상관도가 높아지는 것은 인접 frame 간의 유사성이 높아지는 것으로 데이터 압축 특성이 향상된 것이다. 실험에 영상 부호화기는 이동 보상 예측기로서 이동보상 예측오차의 PSNR(Peak Signal to Noise Ration) 및 Entropy를 측정하였다. 이들은 다음과 같이 표현된다.





(a)



(b)

그림 8. MASF에 의한 출력 결과  
frame rate = 30Hz, cutoff frequency = 15Hz,  
(a) SF 방법, (b) MF 방법

Fig 8. Results of MASF  
frame rate = 30Hz, cutoff frequency = 15Hz,  
(a) SF method, (b) MF method

$$Entropy = -\sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 p_i \text{ (bits/pel)}$$

$$PSNR = -10 \log_{10} \frac{255^2}{E[e^2]} \text{ (db)} \quad (19)$$

$p_i$ : probability of error  $e$ ,

$E[\cdot]$ : Expectation operator

그림10에 따르면 원시영상 보다 데이터 압축특성이 향상된다. 그러므로 MASF는 영상부호기의 전처리 filter로 이용이 가능하다.

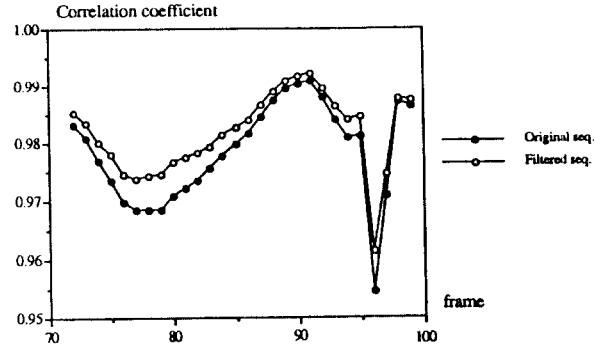
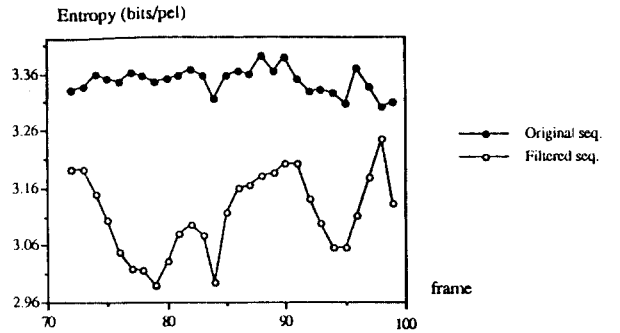
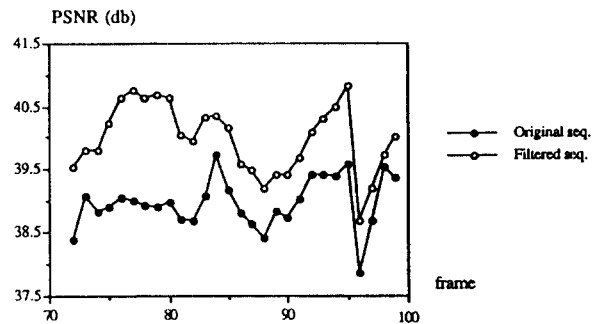


그림 9. 시간축 상관계수의 비교

Fig 9. Comparisons of temporal correlation coefficient.



(a)



(b)

그림 10. 이동 보상 예측오차의 PSNR 및 Entropy

(a) Entropy, (b) PSNR(Peak Signal to Noise Ration).

Fig 10. PSNR and Entropy curve of motion compensated prediction error  
(a) Entropy, (b) PSNR(Peak Signal to Noise Ration).

