

논문 2009-46SP-6-11

움직임 보상의 신뢰도에 기반 한 순차주사화 알고리즘 (De-interlacing Algorithm based on Motion Compensation Reliability)

장 준 영*, 김 영 덕*, 강 문 기**

(Joonyoung Chang, Young Duk Kim, and Moon Gi Kang)

요 약

본 논문에서는 움직임 보상 결과의 신뢰도를 바탕으로 움직임 보상 순차주사화 알고리즘의 결과와 움직임 보상 수직-시간 필터의 결과를 결합하는 순차주사화 알고리즘을 제안한다. 움직임 보상 순차주사화 알고리즘은 높은 공간 해상도를 가진 고품질 영상을 생성하지만 움직임 벡터가 잘못 추정되었을 경우 눈에 띄는 에러를 발생시킨다. 반면에 움직임 보상 수직-시간 필터는 높은 공간 해상도를 제공하지는 못하지만 움직임 벡터의 에러에 강건한 특성을 가지고 있기 때문에 전체적으로 자연스러운 영상을 제공한다. 제안하는 순차주사화 알고리즘은 추정된 움직임 벡터와 움직임 보상 순차주사화 알고리즘의 결과를 분석하여 움직임 보상의 신뢰도를 추정한 후, 움직임 보상 신뢰도에 기반 한 가중치를 바탕으로 두 가지 방법의 장점을 결합한다. 제안된 방법은 움직임 보상의 신뢰도가 높은 영역에서는 높은 공간 해상도를 제공하는 움직임 보상 순차주사화 알고리즘을 적용하고 움직임 보상의 신뢰도가 낮은 영역에 대해서는 움직임 보상 수직-시간 필터를 적용하여 눈에 띄는 에러 없이 높은 공간 해상도를 가지는 영상을 생성한다. 실험 결과에서는 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 시각적 및 수치적인 면에서 뛰어난 결과를 보임을 확인할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a de-interlacing algorithm that combines a motion compensation (MC) method and the vertical-temporal filter with motion compensation (MC V-T filter) according to motion compensation reliability. The MC method represent one of the best ways of improving the resolution of de-interlaced frames, but it may introduce motion compensation artifacts in regions with incorrect motion information. In these regions, the MC V-T filter that is very robust to motion vector errors can be used to correct motion compensation artifacts. The combination between two methods is controlled by the motion compensation reliability that is measured by analyzing the estimated motion vectors and the results of MC. The motion compensation reliability contains information about motion compensation artifacts of MC results and determines the combination weight according to this information. Therefore, the combination rule of the proposed method is more accurate than those of the conventional methods and it enables the proposed method to provide high quality video sequences without producing any visible artifacts. Experimental results with various test sequences show that the proposed algorithm outperforms conventional algorithms in terms of both visual and numerical criteria.

Keywords : De-interlacing; Motion Compensated Interpolation;

Vertical-temporal Filter with Motion Compensation; Adaptive Combination

* 학생회원, ** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과 TMS 정보 기술 사업단
(Institute of TMS Information Technology Yonsei University)

※ 본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터의 지원과 지식경제부, 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F-031-01, 영상 및 비디오 콘텐츠를 위한 계산사진학 기술 개발]

접수일자: 2009년1월20일, 수정완료일: 2009년10월26일

I. 서 론

비월주사 방식(interlaced scanning)은 컴퓨터 모니터나 비디오 게임기에 의해 순차 주사 방식이 나오기 전까지인 1970년대까지 널리 사용 되었던 방식이다. 이 방식은 절반 정도의 데이터로 높은 재생률을 달성 할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 기존 통신 채널의 활용성을 고려하여 현재에도 SDTV나 HDTV의 방송규격으로 사용되고 있다. 하지만 LCD와 PDP와 같은 최신 디스플레이 장치에는 순차주사 방식을 사용하기 때문에 입력 비월주사(interlaced scan) 영상은 순차주사(progressive scan) 영상으로 변환되어야 한다. 따라서 비월주사 영상을 순차주사 영상으로 변환하는 순차주사화(De-interlacing) 알고리즘은 영상소스와 재생 기기들 사이의 호환성을 위해서 필수적으로 활용되고 있다.

지난 30년 동안 비월 주사화로 인한 결함(line crawling, interline flickering, and an edge flickering)을 최소화하기 위한 다양한 순차주사화 알고리즘^[1~14]이 개발되었다. 기존의 순차주사화 알고리즘은 크게 움직임 보상에 기반 한 방식(MC : motion compensation)과 움직임 보상에 기반 하지 않은 방식(non-MC)으로 나눌 수 있다. non-MC 순차주사화 방식^[1~8]은 한 장의 필드(field)만을 사용하는 필드 내 보간(intra-field) 방법과 움직임이 발생 여부를 판단하여 필드 삽입(field insertion) 방식과 필드 내 보간 방식을 적절히 사용하는 움직임 검출(motion detection) 방식 등을 포함한다. non-MC 방식은 MC 방식에 비해서 복잡도는 낮지만 화면떨림이나 화면이 아래위로 천천히 움직이는 라인크롤(line crawl) 현상을 유발하여 눈의 피로를 증가 시키는 단점이 있다.

MC 순차주사화 방식^[9~14]은 하드웨어 복잡도는 높지만 가장 뛰어난 성능을 보이는 방법 중에 하나로 알려져 있다. MC 순차주사화 알고리즘은 움직임 추정(ME : motion estimation)을 통해서 움직임 벡터(MV : motion vector)를 추정한 후, 움직임 궤도 방향으로 보간을 수행한다. MC 순차주사화 알고리즘은 일반적으로 non-MC 순차주사화 알고리즘에 비해서 높은 수직해상도를 가지는 고화질의 영상을 얻을 수 있는 장점이 있지만 MV가 잘못 추정될 경우에는 눈에 띄는 심각한 움직임 보상 에러(MCA : motion compensation artifact)를 유발하는 단점도 있다. 성능이 뛰어난 ME 알고리즘을 사용하여 MCA를 줄일 수는 있지만 대부분

의 ME 알고리즘이 영상의 모든 영역에 대해서 항상 정확한 MV를 추정하는 것은 불가능하기 때문에 MCA는 발생하게 된다. 따라서 대부분의 MC 순차주사화 알고리즘은 MCA를 효과적으로 제거하기 위해 MC 순차주사화 알고리즘을 보완할 수 있는 필드 내 보간 방식 또는 그 이외의 움직임 벡터 에러에 강건한 순차주사화 알고리즘 등을 추가적으로 사용한다. 즉, MC 순차주사화 결과에 에러가 발생할 확률이 높은 경우에는 대체 알고리즘을 적용하여 MCA를 제거하는 것이다.

MC 순차주사화 알고리즘과 움직임 벡터 에러에 강건한 대체 알고리즘을 결합할 경우, 어느 상황에 어떤 알고리즘을 사용할 것인가가 중요하다. 일반적으로 움직임 벡터 에러에 강건한 순차주사화 알고리즘은 에러가 없는 자연스러운 영상을 얻어낼 수 있는 반면에 공간 해상도를 향상시키는 데에는 한계가 있다. 따라서 상호 보완적인 두 가지 알고리즘을 결합하는 방법은 MC 순차주사화 결과를 최대한 활용할 수 있도록 하여 공간해상도를 향상시키면서도 MCA 발생 영역만을 최소한으로 정확히 판단하여 대체 알고리즘을 적용하여야 한다. 기존의 MC 순차주사화 알고리즘에서는 움직임 벡터의 신뢰도에 기반 한 가중치를 생성하여 이용하거나^[10] MC 순차주사화의 결과가 움직임 벡터 에러에 강건한 순차주사화의 결과와 비슷할 경우에 MC 순차주사화의 결과를 이용하는 방법^[11]을 사용하였다. 하지만 기존의 결합 방법들은 MC 순차주사화의 결과를 직접 분석하지 않고 다른 판단 기준을 적용하여 블록단위로 결합을 하였기 때문에 블록 단위로 에러가 발생하며 MCA가 효율적으로 제거되지 않는 단점이 있다.

본 논문에서는 높은 해상도를 제공하는 MC 순차주사화와 움직임 벡터 에러에 강건한 움직임 보상 수직-시간(MC V-T) 필터의 결과를 결합하는 순차주사화 알고리즘을 제안한다. 두 가지 방법을 결합하는데 사용되는 가중치는 움직임 보상 신뢰도에 기반하고 있으며 움직임 보상 신뢰도는 MV 신뢰도 및 MC 순차주사화 결과의 신뢰도를 모두 고려한다. 특히 제안된 알고리즘은 MC 순차주사화 결과를 직접 분석하여 MCA를 검출하고 이를 가중치에 반영하기 때문에 기존 알고리즘에 비해서 MCA를 보다 정확하게 검출하여 제거할 수 있으며, 그 결과 에러가 없는 고화질의 영상을 출력한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 순차주사화 알고리즘의 전체 구조를 설명하고, 제안된 방법에서 사용된 두 가지 순차주사화 알고리즘에 대해

서 설명한다. 이어서 두 가지 방법을 결합하는 데 사용되는 움직임 보상 신뢰도에 기반 한 가중치를 제안한다. 3장에서는 제안된 알고리즘을 다양한 영상에 적용한 실험 결과와 기존의 알고리즘과의 비교를 보이고 4장에서는 결론을 제시한다.

II. 제안하는 순차주사화 알고리즘

1. 제안된 알고리즘의 전체 구조

입력 인터레이스 신호는 원본 프레임 신호의 짝수 줄이나 홀수 줄 정보만을 가지고 있다. 따라서 프레임 신호로 복원하기 위해서는 순차주사화 알고리즘을 적용하여 손실된 홀수 줄이나 짝수 줄 정보를 복원해야 한다. 이러한 과정은 아래 식 (1)과 같이 표현된다.

$$P(i,j,t) = \begin{cases} f_i(i,j,t) , & \text{if } i\%2 = t\%2 \\ g(i,j,t) , & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 (i, j) 는 화소의 세로/가로 위치를 의미하고 t 는 프레임 혹은 필드의 번호를 의미하며, $\%$ 는 모듈로(modulo) 연산자이다. f_i 는 입력 인터레이스 필드를 의미하며 g 는 순차주사화 알고리즘으로부터 생성된 필드를 의미한다. 프레임 $P(i,j,t)$ 는 입력 인터레이스 필드(f_i)와 순차주사화 알고리즘으로부터 생성된 필드(g)를 결합하여 생성된다. 본 논문에서는 MC V-T 필터의 결과와 움직임 보상 순차주사화 알고리즘의 결과를 움직임 보상 신뢰도에 기반 한 가중치로 적절히 결합하여 g 를 생성한다. 그림 1에는 제안하는 순차주사화 알고리즘의 전체 블록도를 나타내었다.

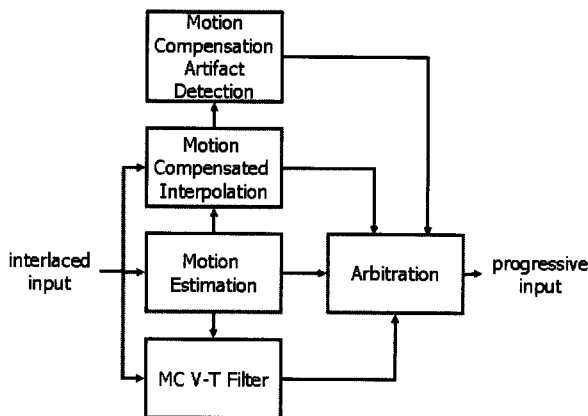


그림 1. 제안하는 순차주사화 알고리즘 블록도
Fig. 1. Block diagram of the proposed method

가. 움직임 보상 수직-시간 필터 (MC V-T Filter)
수직-시간(V-T) 필터^[1]는 선형 순차주사화 알고리즘 중에서 최고의 성능을 보이는 방법으로 알려져 있다. V-T 필터는 현재 처리하는 필드의 이전 필드와 이후 필드로부터 고주파 성분을 추출하여 현재 필드와 적절히 결합시키기 때문에 영상의 에일리어싱(aliasing)과 블러(blur) 현상을 최소화하여 자연스러운 영상을 얻을 수 있도록 해준다.

MC V-T 필터^[10]는 V-T 필터에 움직임 보상을 결합한 필터이다. V-T 필터의 경우 움직임 벡터가 $\vec{0}$ 임을 가정하고 고주파 성분을 가져오기 때문에 영상에 움직임이 발생하였을 경우에는 다른 위치의 고주파 성분을 잘못 가져올 수가 있다. 하지만 MC V-T 필터의 경우, 추정된 MV를 참고하여 움직임 궤도에 위치해 있는 이전, 이후 필드의 고주파 정보를 정확히 추출하여 사용하기 때문에 영상의 화질을 더욱 개선시킬 수 있다. MC V-T 필터가 움직임 추정의 결과를 사용하긴 하지만 현재 필드의 상, 하 픽셀 값에 크게 의존적이며, 다른 필드에서는 수직 고주파 정보만을 추출하여 사용하기 때문에 움직임 추정 에러에 상당히 강건하여 에러가 없는 자연스러운 영상을 출력한다. 따라서 MC V-T 필터는 MC 순차주사화 알고리즘에서 에러가 발생한 영역에 대하여 대체 알고리즘으로 사용하기에 적절하다. 그림 2에는 움직임 벡터가 $\vec{0}$ 일 때, MC V-T 필터에 사용되는 픽셀과 각 픽셀에 해당하는 가중치를 나타내었다. 그림에서 나타난 것과 같이 현재 필드에서 현재 처리 픽셀 위치의 위, 아래 픽셀에 큰 가중치가 사용되는 것을 확인할 수 있다.

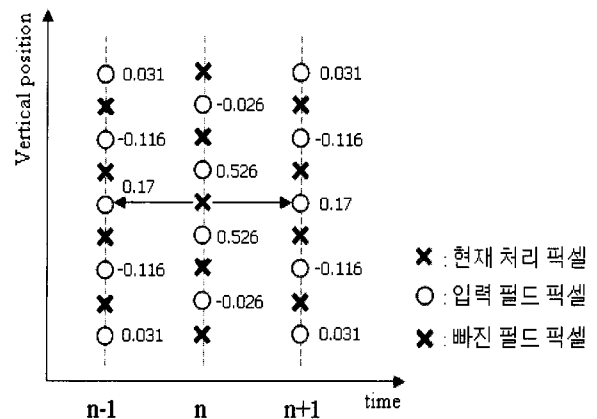


그림 2. MC V-T 필터 계수
Fig. 2. Coefficients of the MC V-T filter.

나. 움직임 보상(MC) 순차주사화 알고리즘

MC 순차주사화 알고리즘의 성능은 측정된 움직임 벡터에 직접적인 영향을 받기 때문에 정확한 움직임 추정 알고리즘을 사용하는 것이 중요하다. 움직임 추정 알고리즘은 그 접근 방식에 따라 여러 가지 방법이 있지만 그 중에서 블록 매칭 알고리즘(BMA)은 다양한 비디오 프로세싱 분야에서 널리 사용되고 있는 방법이다. BMA 방식은 하드웨어 구현이 용이하여 실시간 처리에 적합하며, 특히 BMA 방식의 복잡도를 줄이고 정확도를 향상시키는 연구가 오랫동안 진행되었기 때문에 현재 존재하는 BMA 알고리즘은 뛰어난 성능을 보인다. 따라서 본 논문에서는 기존에 있는 BMA 알고리즘 중 신뢰성이 높은 BMA 알고리즘^[15]을 선택하여 사용하였다. 또한 비월주사 신호에서의 움직임 추정의 효율을 높이기 위해 같은 패리티(parity)를 가지는 필드 사이에서 움직임 추정 알고리즘을 적용하였으며^[16] 움직임 추정 알고리즘의 정밀도는 1/4의 움직임(quarter-pel)까지 추정할 수 있도록 하였다.

BMA 알고리즘으로부터 측정된 현재 처리하고 있는 블록의 움직임 벡터를 $\vec{mv} = (mv_r, mv_c)$ 라고 하면 손실된 라인의 픽셀 값은 MC 순차주사화 알고리즘^[9~14]에 의해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$MC(i, j, t) = \frac{f_p(i, j, t) + f_n(i, j, t)}{2} \quad (2)$$

여기서 $MC(i, j, t)$ 는 MC 순차주사화 알고리즘의 결과를 의미한다. $f_p(i, j, t)$ 와 $f_n(i, j, t)$ 는 각각 현재 필드 이전의 필드들로부터 구한 움직임 보상 결과와 현재 필드 이후의 필드들로부터 구한 움직임 보상 결과를 의미하며 식 (3)과 같이 결정된다.

$$f_p(i, j, t) = \frac{\sum_{k=-1}^{-K} \frac{1}{d_{(k)}} \cdot f_{(k)}(i, j, t)}{\sum_{k=-1}^{-K} \frac{1}{d_{(k)}}} \quad (3)$$

$$f_n(i, j, t) = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{1}{d_{(k)}} \cdot f_{(k)}(i, j, t)}{\sum_{k=1}^K \frac{1}{d_{(k)}}}$$

여기서 K 은 움직임 보상 알고리즘에 사용하는 이전 필드 혹은 이후 필드의 개수를 의미하며 움직임 보상에 사용되는 총 필드의 개수는 $2K$ 개가 된다. $f_{(k)}(i, j, t)$

는 움직임 벡터를 참조했을 때 현재 보간 해야 할 픽셀과 같은 움직임 궤도에 있는 $(t+k)$ 번째 필드의 픽셀 값을 의미하며 식 (4)와 같이 결정된다.

$$f_{(k)}(i, j, t) = f\left(i - \frac{mv_r}{2} \cdot k, j - \frac{mv_c}{2} \cdot k, t+k\right) \quad (4)$$

여기서 $f_{(k)}(i, j, t)$ 는 $(i - \frac{mv_r}{2} \cdot k, j - \frac{mv_c}{2} \cdot k)$ 좌표가 부 화소(sub-pixel) 좌표를 가리키게 될 때, 추가적인 보간 과정이 필요하다. 이 때, 수평방향으로는 선형(bilinear) 보간 방법을 사용하고 수직방향으로는 가장 가까운 픽셀 (nearest neighbor) 보간을 사용하여 보간을 수행한다. 식 (3)에서 $d_{(k)}$ 는 실제 움직임 벡터가 가리키는 부 화소 좌표와 이에 가장 가까운 정수 좌표와의 수직 거리를 나타낸다. MC 순차주사화 알고리즘은 시간축의 정보를 최대한으로 활용하기 때문에 공간해상도를 향상시키는 데 효율적이지만 움직임 추정에러에 취약한 단점이 있다.

다. 공간 적응적 결합

MC 순차주사화 알고리즘과 MC V-T 필터는 상호 보완적인 특성을 가지고 있다. MC 순차주사화 알고리즘은 높은 공간 해상도를 제공하는 대신 움직임 벡터가 잘못 추정된 경우에는 눈에 띄는 에러를 발생시키며 MC V-T 필터는 공간 해상도를 크게 개선하지는 못하지만 움직임 벡터의 에러에 강건한 특성을 가져 에러가 없는 자연스러운 영상을 제공한다. 따라서 이 두 가지 방법을 적절히 결합 할 경우 에러가 없으면서 높은 해상도를 가지는 영상을 얻을 수 있다.

제안하는 알고리즘에서는 MC V-T 필터와 MC 순차주사화 알고리즘의 결과를 결합하여 최종 결과를 출력하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$g(i, j, t) = \frac{w_{vt} \cdot VT_{mc}(i, j, t) + w_{mc} \cdot MC(i, j, t)}{w_{vt} + w_{mc}} \quad (5)$$

여기서 VT_{mc} 와 MC 는 각각 MC V-T 필터 결과와 MC 순차주사화의 결과를 의미한다. w_{vt} 와 w_{mc} 는 두 가지 방법을 결합하는 움직임 보상의 신뢰도에 기반 한 가중치이며 매 픽셀마다 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} w_{vt} &= (1 - w_{mvc}) \cdot w_{td} \\ w_{mc} &= (1 - w_{td}) \cdot w_{mvc} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 w_{mvc} 는 추정된 움직임 벡터의 일관성에 따라 결정되는 가중치이며 w_{td} 는 추정된 움직임 벡터의 궤도에 있는 픽셀 값들의 차이를 나타낸다. 제안된 알고리즘에서는 MC 순차주사화 결과에 에러가 발생했는지 발생하지 않았는지에 대한 정보도 고려하여 w_{mvc} 와 w_{td} 를 생성하기 때문에 기존의 알고리즘 보다 더 정확하게 두 알고리즘을 결합 할 수 있다. 다음 장에서는 제안하는 알고리즘에서 식 (6)에 나타난 가중치를 결정하는 방법에 대해 제시한다.

2. 움직임 보상 결과 신뢰도

가. MCA 발생 정도 측정 방법

MC 순차주사화 알고리즘은 기존의 순차주사화 알고리즘 중 공간 해상도를 향상시키는 가장 효율적인 방법 중에 하나로 알려져 있다. 하지만 앞에서 설명한 바와 같이 움직임 벡터가 잘못 추정될 경우 심각한 에러를 발생시킨다. 이러한 에러는 대부분의 영역에서 높은 성능을 보이는 MC 순차주사화 알고리즘을 저평가 시키는 원인이 된다. 따라서 MCA를 검출하고 제거하는 것은 MC 순차주사화 알고리즘에서 중요하다. 이번 장에서는 MC 순차주사화 알고리즘에서 MCA가 얼마만큼 발생하였는지 측정하는 방법에 대해서 설명한다. MC 순차주사화에서 발생하는 MCA는 수직방향으로 픽셀 값의 증가, 감소가 반복되는 패턴을 보이기 때문에 수직 방향으로 이웃한 5개의 픽셀 값을 분석하여 증가 감소 패턴을 찾는다. 패턴의 존재 여부로 MCA의 발생 여부를 판단한 후에는 이웃 픽셀과의 차이를 구하여 MCA 발생 정도를 측정한다. MCA 발생 정도에 대한 정보는 다음 장에서 설명 할 움직임 보상 신뢰도에 기반 한 가중치에 적용된다.

MCA 검출을 위해 식 (7)과 같이 MC 순차주사화 알고리즘만을 사용하여 순차주사화를 수행한다.

$$T(i, j, t) = \begin{cases} f_i(i, j, t) & , \text{if } i\%2 = t\%2 \\ MC(i, j, t) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

MCA 검출 방법에는 수직 방향으로 5개의 픽셀 값이 사용된다. ($T(i-2, j, t)$, $T(i-1, j, t)$, $T(i, j, t)$, $T(i+1, j, t)$ 그리고 $T(i+2, j, t)$) 5개의 픽셀 값은

영상의 명암 대비(contrast) 정보와 상관없이 MCA 정도를 정확히 측정하기 위해서 식 (8)과 같이 0부터 A 사이의 값을 가지도록 재조정된다.

$$T'(k) = A \cdot \frac{T(i+k, j, t) - \min_T}{\max_T - \min_T} \quad (8)$$

여기서 $T'(k)$ 는 조정된 픽셀 값을 의미하고 k 는 $-2 \leq k \leq 2$ 의 범위 안에 있는 정수 값을 의미한다. \max_T 와 \min_T 은 각각 5개의 픽셀 값 중 최대값과 최소값을 의미한다. 조정된 5개의 픽셀 값을 가지고 MCA 발생 정도를 나타내는 $MCA(i, j)$ 값을 식 (9)와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} MCA(i, j) &= \max \left[\min [M(T'(-2), T'(-1), T'(0)), \right. \\ &\quad \left. M(T'(-1), T'(0), T'(1))], \right. \\ &\quad \left. \min [M(T'(2), T'(1), T'(0)), \right. \\ &\quad \left. M(T'(-1), T'(0), T'(1))] \right] \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $M(a, b, c)$ 는 다음 식 (10)과 같이 결정된다.

$$M(a, b, c) = \begin{cases} 0 & , \text{if } a \leq b \leq c \\ & \text{or } c \leq b \leq a \\ \min[|b-a|, |b-c|] & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $M(a, b, c)$ 은 5개의 픽셀 중 3개씩의 픽셀 값을 받아들여 증가, 감소 패턴의 존재 여부를 판단하고 패턴이 존재할 경우 위, 아래 픽셀 값과의 차이를 통해 MCA 발생 정도를 결정하는 기능을 수행한다. 즉, 식 (9)는 현재 처리 화소를 기준으로 하여 현재 화소와 위쪽 화소에서 증가, 감소 패턴이 연속 발생하거나 현재 화소와 아래쪽 화소에서 증가, 감소 패턴이 연속 발생할 경우에 MCA로 판단하여 MCA 정도를 추정한다.

나. 움직임 보상 신뢰도에 기반 한 가중치

움직임 벡터 신뢰도는 움직임 추정에 기반 한 여러 비디오 영상처리 분야에서 움직임 추정이 적절히 수행되었는가를 판단하는 기준으로 사용되어왔으며 순차주사화 분야에서도 MC 순차주사화 결과가 적절한지를 판단하는 기준으로 사용되었다. 본 논문에서는 MV 결과를 분석하여 얻은 움직임 벡터의 신뢰도뿐만 아니라 앞 장에서 설명한 MCA 발생 정도 측정 결과도 함께 고려하여 두 방법을 결합한다. 제안하는 결합 방법에는 식 (6)과 같이 두 가지 종류의 가중치가 사용된다.

w_{mvc} 는 블록 단위로 결정되며 추정된 MV의 일관성에 대한 정보를 담고 있다. 즉, 추정된 MV가 이웃 블록과 일관성이 있는 경우에는 MV가 잘 추정된 것이고 그 블록 안에서는 MC 순차주사화의 결과가 적절하다고 가정한다. w_{td} 는 픽셀 단위로 결정되며 추정된 MV의 궤도에 존재하는 픽셀 값들의 차이에 대한 정보를 포함한다. 즉, 같은 움직임 궤도에 있는 픽셀 값의 차이가 작을 경우에는 MV가 잘 추정된 것으로 가정하여 그 픽셀에서는 MC 순차주사화 결과가 적절하다고 판단하는 것이다. w_{mvc} 와 w_{td} 는 MC 순차주사화의 결과가 적절한 지에 대한 것도 고려가 되어 있다. 즉, 두 가지 가중치에 대해서 추정된 MV가 적절하다고 판단이 되었다더라도 MC 순차주사화 결과에 MCA가 관찰 될 경우, 가중치 w_{mvc} 와 w_{td} 를 재조정하여 적절한 결합을 할 수 있도록 유도한다.

추정된 MV의 일관성에 해당되는 가중치 w_{mvc} 은 식 (11)에서와 같이 결정된다.

$$w_{mvc} = \rho(N_{mca}) \cdot \frac{N_{sb}}{N_{tb}} \quad (11)$$

여기서 N_{tb} 와 N_{sb} 는 각각 현재 처리하는 블록의 이웃에 위치한 블록의 총 수와 그 중에서 현재 처리하는 블록과 비슷한 MV를 가지는 이웃 블록의 수를 의미한다. 이웃 블록은 현재 블록을 중심으로 한 5×3 (가로 \times 세로) 마스크 안에 위치한 블록들을 의미한다. N_{mca} 는 4×4 블록 안에서 $MCA(i, j)$ 값이 $A/2$ 값보다 큰 픽셀의 개수를 의미하며 $\rho(\cdot)$ 는 0.5와 1 사이의 값을 출력하는 단조 감소함수를 의미한다. 즉, 제안하는 알고리즘은 현재 처리 블록의 MV가 이웃한 블록의 MV와 유사할 경우에는 MV가 신뢰성이 있다고 판단하여 MC 순차주사화 결과에 높은 가중치가 할당된다. 하지만 $\rho(N_{mca})$ 는 해당하는 블록 안에서 MCA 정도가 심한 픽셀의 개수가 많을 경우, 움직임 벡터의 일관성이 높더라도 w_{mvc} 가중치를 감소시켜 MC 순차주사화 결과를 최종 결과에 제외시키는 쪽으로 동작하도록 한다. 만약 해당하는 블록 안에 MCA가 발견되지 않으면 제안하는 알고리즘은 움직임 벡터의 일관성에 대한 정보만을 사용하여 두 방법을 결합하게 된다.

w_{td} 를 결정하기 위하여 추정된 MV의 궤도 위에 있는 픽셀 값들의 차이를 다음 식 (12)와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} td_1 &= |f_{(-1)}(i, j, t) - f_{(1)}(i, j, t)| \\ td_2 &= \frac{1}{2} \cdot (|f_{(0)}(i+1, j, t) - f_{(2)}(i+1, j, t)| \\ &\quad + |f_{(0)}(i-1, j, t) - f_{(2)}(i-1, j, t)|) \quad (12) \\ td_3 &= \frac{1}{2} \cdot (|f_{(0)}(i+1, j, t) - f_{(-2)}(i+1, j, t)| \\ &\quad + |f_{(0)}(i-1, j, t) - f_{(-2)}(i-1, j, t)|) \end{aligned}$$

여기서 $f_{(k)}(i, j, t)$ 는 식 (4)와 같이 구한다. 일반적으로 움직임 궤도에 있는 화소 값의 차이가 클 경우에는 움직임 보상이 잘못 될 확률이 크다. 따라서 위에서 구한 3개의 픽셀 값의 차이 중에서 가장 큰 픽셀 차이 값을 선택하고 이 값에 $MCA(i, j)$ 를 더하여 현재 픽셀에서의 $td(i, j)$ 를 다음 식 (13)과 같이 구한다.

$$td(i, j) = \max\{td_1, td_2, td_3\} + MCA(i, j) \quad (13)$$

여기서 $MCA(i, j)$ 값은 MC 순차주사화 결과에서 MCA가 발생될 경우 이에 대한 정보를 픽셀 차이 값에 추가적으로 반영하기 위해서 도입되었다. 만일 MC 순차주사화 결과에 MCA가 발생한 경우, $MCA(i, j)$ 값은 큰 값을 가지게 될 것이며 움직임 궤도 내에 있는 픽셀 차이 값이 작더라도 $MCA(i, j)$ 에 의하여 전체적으로는 $td(i, j)$ 값은 증가하게 될 것이다. $td(i, j)$ 의 증가는 MC 순차주사화 결과에 대한 가중치를 감소시키는 방향으로 동작하여 MCA를 제거하게 된다. 반면에 MCA가 관찰되지 않는다면 $td(i, j)$ 값은 오로지 픽셀 차이 값에 따라서만 변화하게 되고 움직임 궤도 위에 있는 화소 값의 차이가 클 경우에만 큰 값을 가지게 된다. $td(i, j)$ 만을 사용할 경우, $td(i, j)$ 값이 영상의 고주파 성분에 민감하여 잘못 추정될 수도 있으므로 안정성을 위해 $td(i, j)$ 을 4×4 블록 안에서 평균한 $atd(\lfloor \frac{i}{4} \rfloor, \lfloor \frac{j}{4} \rfloor)$ 값을 함께 사용한다. atd 값을 함께 고려하면 안정적이면서도 지역 특성을 잘 반영한 픽셀 차이 값 정보를 얻을 수 있다. $td(i, j)$ 값과 atd 값을 이용하여 w_{td} 는 식 (14)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} w_{td} &= \min \left\{ \frac{td(i, j) + atd(\lfloor \frac{i}{4} \rfloor, \lfloor \frac{j}{4} \rfloor)}{2B}, 1 \right\} \quad (14) \end{aligned}$$

여기서 B 는 실험적으로 정해진 상수 값을 의미하며 이 값은 움직임 보상이 잘못 된 부분에서 $td(i, j)$ 값과 atd 값을 분석하여 오류를 최소화 하는 값으로 선

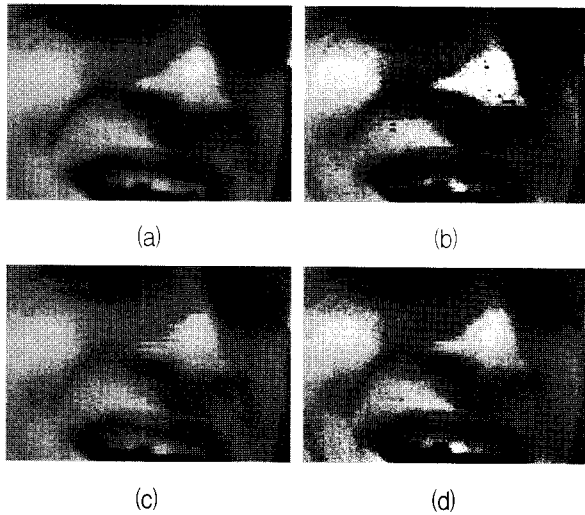


그림 3. “Foreman” 동영상 순차주사화 실험 결과
 (a) 원본 영상 (b) ST (c) MC1 (d) 제안된 방법
 Fig. 3. De-interlacing results of the “Foreman” sequence (a) original image (b) ST (c) MC1 (d) Proposed method.

택하였다. 식 (6)과 (14)에서 살펴볼 수 있듯이 $td(i,j)$ 값이 증가하면 MC V-T 필터의 결과의 비중이 높아져 안정적인 결과를 제공하도록 해준다.

III. 실험 결과

제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 다양한 움직임을 가진 동영상을 사용하였다. 원본 순차주사 포맷 동영상은 안티-에일리어싱(anti-aliasing) 필터를 사용하지 않고 다운 샘플링 하여 비월주사 포맷 동영상으로 변환 하였으며, 원본 비월주사 포맷 동영상 및 생성된 비월주사 포맷 동영상은 제안된 순차주사화 알고리즘을 통해 다시 순차주사 포맷 동영상으로 변환하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 주관적 비교와 객관적인 비교를 통해 검증하였다. 객관적인 비교를 위해서 원본 순차주사 포맷 동영상이 있는 영상에 한해서 변환된 영상과 원본 영상과의 차이를 보여주는 Peak-to-peak Signal to Noise Ratio(PSNR) 값을 수치적으로 계산하였다. 기존의 알고리즘과 성능을 비교하기 위하여 본 논문에서는 공간-시간(ST)^[8] 순차주사화 알고리즘과 두 개의 움직임 보상 기반 순차주사화 알고리즘(MC1^[10]와 MC2^[11])을 구현하였다.

그림 3은 “foreman” 동영상의 14번째 영상의 순차주사화 결과를 확대시킨 그림이다. “Foreman”은 거의 정지된배경을 포함하고 사람의 얼굴이 불규칙적인 움직

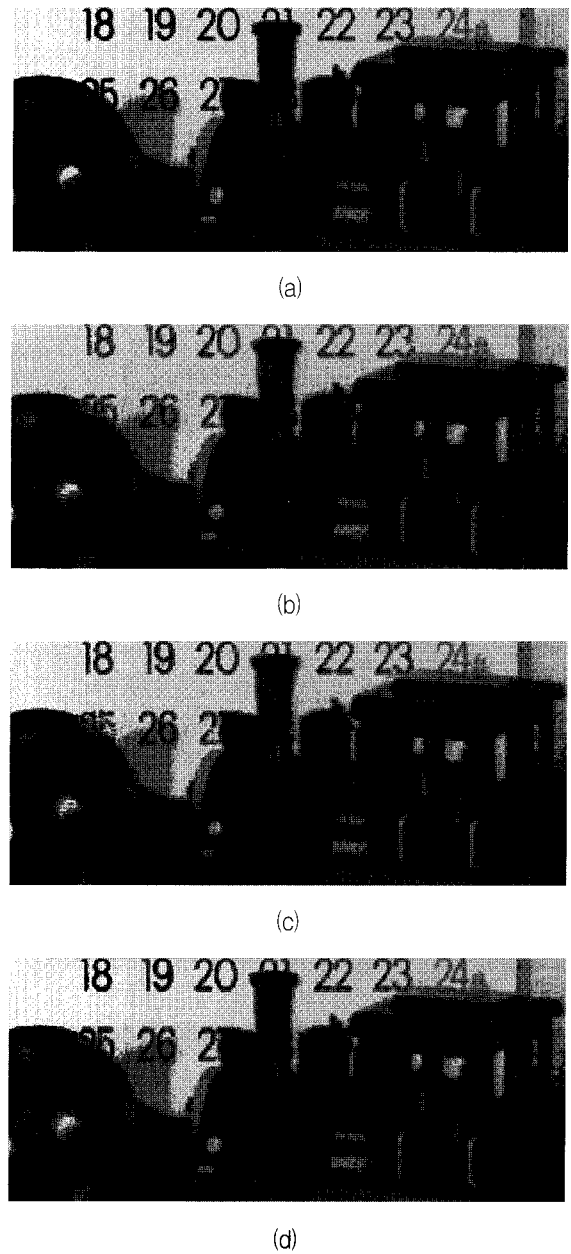


그림 4. 순차주사화 실험 결과
 (a) 원본 영상 (b) ST (c) MC1 (d) 제안된 방법
 Fig. 4. De-interlacing results of the “Mobile” sequence (a) original image (b) ST (c) MC1 (d) Proposed method.

임을 보이는 동영상이다. 그림 3(a)는 원본 영상, 그림 3(b)는 ST 알고리즘 결과, 그림 3(c)에는 MC1 알고리즘 결과, 그리고 그림 3(d)에는 제안하는 알고리즘의 결과를 나타낸다. ST 알고리즘은 움직임이 있는 영역에서 시간 축 정보를 잘못 활용하여 에러를 발생시켰으며 MC1 알고리즘은 배경부분에서 효과적으로 해상도를 향상시켰으나 불규칙한 움직임을 보이는 사람의 얼굴에서는 에러를 효과적으로 제거하지 못하였다.

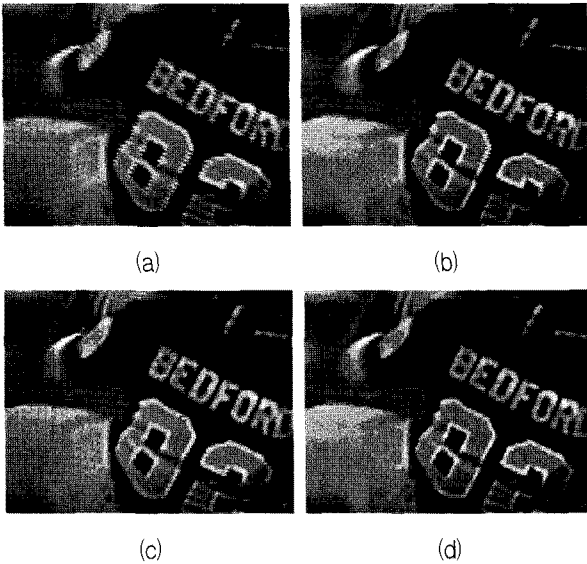


그림 5. "Football" 동영상 순차주사화 실험 결과 (a) ST (b) MC1 (c) MC2 (d) 제안된 방법
 Fig. 5. De-interlacing results of the "Football" sequence (a) ST (b) MC1 (c) MC2 (d) Proposed method.

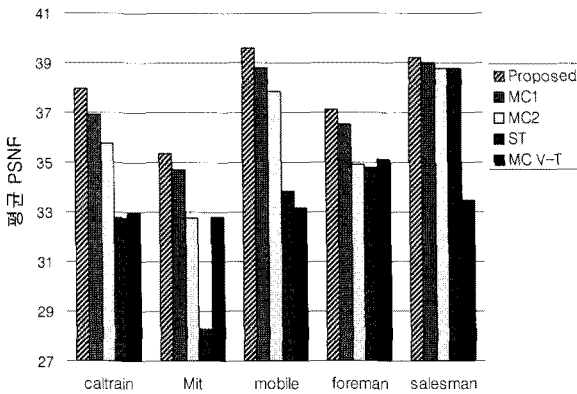


그림 6. 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘과의 평균 PSNR 비교
 Fig. 6. PSNR comparison between the proposed and conventional methods.

제안하는 알고리즘은 MC1과 마찬가지로 배경부분의 해상도를 효과적으로 향상시켰으며 불규칙한 움직임을 보이는 사람의 얼굴에서도 MC V-T 결과를 적절히 결합하여 자연스러운 영상을 얻어내는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 "mobile" 동영상의 14번째 영상의 순차주사화 결과를 확대시킨 그림이다. "Mobile"은 전체적으로 카메라 패닝의 움직임을 가지고 있으며 배경과는 별도로 달력과 기차가 서로 다른 움직임을 가지고 있는 동영상이다. MC1 알고리즘의 경우 그림 4(c)에서 확인할

수 있듯이 달력과 배경 및 기차 내부에서는 효과적으로 해상도를 향상시켰지만 기차와 달력이 겹치는 영역에서는 결합이 정밀하지 못하여 움직임 보상 순차주사화 결과의 에러가 그대로 드러났다. 그림 4(d)에는 제안된 알고리즘의 결과를 나타내었다. 그림 4(d)에서 확인할 수 있듯이 제안된 알고리즘은 전체적으로 공간 해상도를 개선하면서도 물체가 겹치는 부분에서도 두 가지 방법을 적절히 결합하여 안정적인 결과를 얻어 내었다.

"football"은 역동적인 움직임을 가지는 동영상으로 그림 5에는 "football" 동영상의 36번째 영상의 순차주사화 결과를 확대한 그림을 나타내었다. 그림 5(a)는 ST 알고리즘 결과, 그림 5(b)는 MC1 알고리즘 결과, 그림 5(c)에는 MC2 알고리즘 결과, 그리고 그림 5(d)에는 제안하는 알고리즘의 결과를 나타낸다. 그림 5(d)에서 확인할 수 있듯이 제안하는 알고리즘은 역동적인 움직임을 가지는 영상에서도 두 가지 방법을 효과적으로 결합하여 에러가 없는 자연스러운 영상을 출력하였다.

마지막으로 기존의 순차주사화 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 수치적으로 평가하기 위하여 원본 프레임이 존재하는 동영상에 한해서 PSNR 값을 계산하였다. 그림 6의 PSNR 값을 비교하여 보면 5개의 테스트 영상에 대해서 제안된 방법의 PSNR이 가장 높게 나타났음을 알 수 있다. 그림 6에서 나타나 있듯이 제안된 순차주사화 알고리즘은 수치적으로도 기존의 알고리즘보다 뛰어난 결과를 보임을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

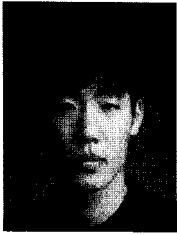
본 논문에서는 움직임 보상 기반의 순차주사화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 순차주사화 알고리즘은 추정된 움직임 벡터의 신뢰도와 MC 순차주사화 알고리즘의 결과에 에러의 발생정도에 대한 정보를 함께 고려하여 움직임 보상의 신뢰도를 추정한 후, 움직임 보상의 신뢰도에 기반 한 가중치를 결정하였다. 제안하는 결합 방법은 움직임 보상의 신뢰도가 높은 곳에서는 높은 해상도를 제공하는 움직임 보상 순차주사화 알고리즘의 결과를 충분히 반영할 수 있도록 하고 움직임 보상의 신뢰도가 낮은 곳에서는 움직임 벡터 에러에 강건한 움직임 보상 수직-시간 필터의 결과를 적용하여 에러가 없는 자연스러운 고화질의 동영상을 출력하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 다양한 움직임을 포함한 동영상들에 적용하여 검증되었으며 실험 결과에서는 제안

하는 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 시각적, 수치적으로 향상된 결과를 생성하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. de Haan and E. B. Bellers, "Deinterlacing-an overview," Proc. IEEE, vol. 86, no. 9, pp. 1839-1857, Sep. 1998.
- [2] H. Yoo and J. Jeong, "Direction-oriented interpolation and its application to de-interlacing", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 48, no. 4, pp. 954-962, Nov. 2002.
- [3] M. K. Park, M. G. Kang, K. Nam, and S. G. Oh, "New edge dependent deinterlacing algorithm based on horizontal edge pattern", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 49, no. 4, pp. 1508-1512, Nov. 2003.
- [4] M. K. Park, M. Byun, J. H. Park, and M. G. Kang, "Edge-dependent interpolation-based de-interlacing using edge patterns", SPIE Electronic Imaging., vol. 4, pp.22-29, Oct. 2006.
- [5] Xin Li, "New edge-directed interpolation", IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 10, pp. 1521-1527, Oct. 2001.
- [6] S. G. Lee and D. H. Lee, "A motion-adaptive de-interlacing method using an efficient spatial and temporal interpolation", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 49, no. 4, pp. 1266-1271, Nov. 2003.
- [7] Y. Y. Jung, S. Yang and P. Yu, "An effective de-interlacing technique using two types of motion information", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 49, no. 3, pp. 493-498, Aug. 2003.
- [8] M.-J. Chen, C.-H. Huang and C.-T. Hsu, "Efficient de-interlacing technique by inter-field information", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 50, no. 4, pp. 1202-1208, Nov. 2004.
- [9] S. Yang, Y. Jung, Y. H. Lee, and R. Park, "Motion compensation assisted motion adaptive interlaced-to-progressive conversion", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, No. 9, pp. 1138-1148, Sep. 2004.
- [10] D. Wang, A. Vincent, and P. Blanchfield, "Hybrid de-interlacing algorithm based on motion vector reliability", IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technology Video Technol., vol. 15, no. 8, pp. 1019-1025, Aug. 2005.
- [11] O. Kwon, K. Sohn, and C. Lee, "Deinterlacing using directional interpolation and motion compensation", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 49, no. 1, pp. 198-203, Feb. 2003.
- [12] Y.-Y. Jung, B.-T. Choi, Y.-J. Park and S.-J. KO, "An effective de-interlacing technique using motion compensated interpolation", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 46, no. 3, pp. 460-466, Aug. 2000.
- [13] Y.-L. Chang, S.-F. Lin, C.-Y. Chen, and L.-G. Chen, "Video de-interlacing by adaptive 4-field global/local motion compensated approach", IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technology Video Technol., vol. 15, no. 12, pp. 1569-1582, Dec. 2005.
- [14] K. Sugiyama and H. Nakamura, "A method of de-interlacing with motion compensated interpolation", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 45, no. 3, pp. 611-616, Aug. 1999.
- [15] G. de Haan, P. W. A. C. Biezen, H. Huijgen, and O. A. Ojo, "True-motion estimation with 3-D recursive search block matching", IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technology Video Technol., vol. 3, no. 5, pp. 368-379, 388, Oct. 1993.
- [16] R. A. Beuker, and I. A. Shah, "Analysis of interlaced video signals and its applications", IEEE Trans. Image Process., vol. 3, no. 5, pp. 501-512, Sep. 1994.

저 자 소 개



장 준 영(학생회원)
 2004년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2006년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2006년~연세대학교 전기전자
 공학과 박사과정

<주관심분야 : 잡음제거, 색수차제거, 영상보간,
 순차주사화, 움직임 추정 및 보상, 프레임 율 변
 환, 비디오 컬러 처리>



김 영 덕(학생회원)
 1996년 연세대학교 전기전자
 공학과 학사 졸업
 1998년 연세대학교 전기전자
 공학과 석사 졸업
 1998년~삼성전자 연구원.
 2005년~연세대학교 전기전자
 공학과 박사과정

<주관심분야 : 순차주사화, 프레임 율 변환, 움직
 임 추정 및 보상, 영상 보간>



강 문 기(정회원)-교신저자
 1986년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1988년 서울대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1994년 Northwestern University
 박사 졸업.

1994년~1997년 Assistant Professor.

(University of Minnesota, Duluth)

1997년~1999년 연세대학교 전기전자공학과
 조교수.

1999년~2004년 연세대학교 전기전자공학과
 부교수.

2004년~연세대학교 전기전자공학과 정교수.

<주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비
 선형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의
 움직임 추정>