

논문 2008-45SC-2-3

비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법

(Nonlinear Filter-based Adaptive Shoot Elimination Method)

조진수*, 배종우**

(Jinsoo Cho and Jongwoo Bae)

요약

TV를 포함하는 최근의 디스플레이 시스템들은 디지털화 및 대형화 되는 추세이며, 이러한 시스템들의 화질은 현재의 디스플레이 시스템 시장에서 매우 중요한 상품 경쟁력의 하나로 인식되고 있다. 이에 디지털 디스플레이 시스템의 화질을 개선하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 선명도 개선 기술은 디지털 영상(혹은 동영상)의 화질개선을 위한 중요한 기술들 중 하나로서, 일반적으로 영상경계(edge)의 천이시간(transition time)을 줄여 주는 천이향상(transient improvement) 기술을 기반으로 하고 있다. 하지만, 이 기술은 흔히 천이가 향상된 영상경계 주변에 원치 않는 휘도(혹은 색차)의 변화를 가져올 수 있는 오버슈트(overshoot) 및 언더슈트(undershoot) 현상을 발생시킨다. 이에 본 논문에서는 천이향상 시 발생하는 오버슈트 및 언더슈트를 효과적으로 제거하여 시각적으로 보다 선명하고 깨끗한 디지털 영상(혹은 동영상)을 얻기 위한 새로운 방식의 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법(nonlinear filter-based adaptive shoot elimination method)을 제안한다. 제안한 방법은 두 가지 직교 방향(orthogonal directional)의 최소/최대 비선형 필터들과 적응적 슈트제거 방식을 적용하여 시각적으로 민감한 오버슈트 및 언더슈트를 효과적으로 제거한다. 실험을 통하여, 제안한 방법이 영상경계의 천이향상 정도는 그대로 유지하면서 영상의 왜곡을 초래하는 오버슈트 및 언더슈트를 거의 완벽하게 제거한다는 것을 보여 주었다. 제안한 방법이 적용될 수 있는 제품들로는 디지털 TV, 디지털 모니터, 디지털 카메라/캠코더, 휴대형 멀티미디어 플레이어(PMP) 등이 있다.

Abstract

The current display systems including TVs are going digital and large-sized, and high visual quality of those systems becomes a very important selling point in the current display system market. Thus, various researches have been carried out for enhancing the visual quality of digital display systems. One of the important digital image(or video) enhancement techniques is sharpness enhancement, and it is generally based on a transient improvement technique that reduces the edge transition time. However, this technique often generates overshoot and undershoot, which cause undesirable pixel-level changes around the transient improved edge. In this paper, we propose a new nonlinear filter-based adaptive shoot elimination method for effectively suppressing the overshoot and undershoot that occur in the transient improvement, so that we can obtain visually sharper and clearer digital images(or videos). The proposed method uses two orthogonal directional min/max nonlinear filters with an adaptive shoot elimination scheme in order to effectively suppress the visually sensitive overshoot and undershoot. Experimental results show that the proposed method suppresses the overshoot and undershoot almost perfectly while maintaining the effect of the transient improvement. The applications of the proposed method include digital TVs, digital monitors, digital cameras/camcoders, portable media players(PMP), etc.

Keywords : Sharpness enhancement, transient improvement, nonlinear filter, shoot elimination

I. 서론

TV를 포함하는 최근의 디스플레이 시스템들은 디지털

화 및 대형화 되는 추세이며, 이러한 시스템들의 화질은 현재 디스플레이 시스템 시장에서 매우 중요한 상품 경쟁력의 하나로 인식되고 있다. 따라서 디지털 디스플레이 시스템의 화질을 개선하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔으며, 그 중에서도 원본 디지털 영상 혹은 동영상(이하 영상)에 대한 화질개선 작업은 보다 효과적으로 디지털 디스플레이 시스템의 화질을 개선할 수 있는 방법으로 인식되고 있다^{1~2)}.

* 정회원, 경원대학교 소프트웨어학부
(Kyungwon University)

** 정회원, 명지대학교 정보공학과
(Myongji University)

※ 이 연구는 2006년 경원대학교 지원에 의한 결과임.
접수일자: 2007년8월13일, 수정완료일: 2008년2월25일

영상에 대한 화질개선 작업의 일환으로 낮은 선명도 (sharpness)를 가지는 영상을 보다 선명하게 하기 위한 다양한 선명도 개선(sharpness enhancement or edge enhancement) 방법들이 제안되었는데, 그 중에서 천이 향상(transient improvement) 방법은 휘도(luminance) 또는 색차(chrominance) 영상경계(edge)의 천이시간(transition time)을 감소시켜 영상의 선명도를 개선시키는 역할을 한다^[3~5]. 하지만, 기존의 천이향상 방법들은 천이가 향상된 영상경계 주변에 원치 않는 휘도 또는 색차의 변화를 가져오는 오버슈트(overshoot) 및 언더슈트(undershoot) 현상이 발생하여 영상경계 주변에 왜곡을 발생시킴으로써 시각적으로 부자연스러운 영상을 초래할 수 있다. 따라서 천이향상에 의한 영상의 선명도 개선 작업 시 원치 않는 영상의 왜곡을 최소화하여 영상경계를 보다 자연스럽고 선명하게 만들어주기 위한 다양한 오버슈트 및 언더슈트(이하 슈트) 제거 방법들이 제안되었다^[6~9]. 하지만 제안된 방법들은 주로 천이향상의 게인(gain)을 줄여 과도한 슈트를 제거하는 수정된 방식의 천이향상 방법을 사용함으로써 슈트 제거를 위해 영상경계의 선명도 개선 효과를 감소시켜야 하는 문제점을 가지고 있다. 또한 이러한 천이향상 방법들을 디지털 TV의 디코더 SoC(system-on-chip) 등의 기존 하드웨어 시스템에 적용하기 위해서는 기존 시스템에 대한 대폭의 수정작업이 요구되어 화질개선을 위한 시스템 개선작업을 비효율적으로 만드는 문제점도 가지고 있다. 따라서 디지털 디스플레이 시스템의 선명도 개선을 위한 영상경계 천이향상에 있어서 천이향상 효과의 감소 없이 효과적으로 슈트를 제거함과 동시에 기존 하드웨어 시스템으로의 적용이 용이하여 시스템의 개선작업을 보다 효율적으로 만들어 줄 수 있는 새로운 방식의 슈트제거 방법이 요구된다.

본 논문에서는 영상경계의 천이향상에 의한 휘도영상의 선명도 개선 시 영상경계 주변에 발생하는 시각적으로 부자연스러운 슈트를 제거함으로써 보다 선명하고 깨끗한 영상을 얻기 위한 새로운 방식의 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법(nonlinear filter-based adaptive shoot elimination method)을 제안한다. 제안하는 방법은 슈트제거에 의한 천이향상 효과의 감소를 최소화 하고 선명도 개선 시스템의 개선작업을 보다 효율적으로 만들어 줄 수 있도록 후처리 방식의 최소/최대 비선형 필터링(min/max nonlinear post-filtering)과 적응적 슈트제거(adaptive shoot elimination) 방식을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 디지털 영상의 선명도 개선을 위한 기존의 천이향상 및 슈트제거 방법들의 문제점들에 대해 설명한 후, III장에서는 제안하는 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법에 대해 설명한다. IV장에서는 제안한 방법의 성능을 검증하기 위한 실험 방법 및 실험 결과를 제시한 후, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 천이향상 및 슈트제거 방법의 문제점

기존의 휘도영상 선명도 개선 방법은 그림 1과 같이 영상경계 레벨(edge level)에 따라 입력 휘도영상신호를 세 가지 영역으로 분리하여 영역 별로 각기 다른 선명도 개선 기법들을 적용하고 있다^[10]. 먼저 입력 휘도영상신호의 미분(derivative) 값에 따라 영상경계 레벨을 계산한 후, 그 값이 특정 기준치 이하인 영상경계의 경우 영상잡음(small level noise)으로 간주한다. 이때 영상잡음들이 증폭되지 않도록 원래의 입력 휘도영상신호를 그대로 유지 시키는 코어링(coring) 기법을 적용한다. 다음으로 입력 휘도영상신호의 영상경계 레벨 값이 대체로 작은 영상경계의 경우 피킹(peaking) 기법을 적용하여 영상경계의 국지적 레벨 값을 증가시켜 준다. 즉 영상경계의 국지적 대비를 증가시켜 영상경계가 좀 더 선명하게 보일 수 있도록 만들어 준다. 마지막으로 입력 휘도영상신호의 영상경계 레벨 값이 피킹을 적용하는 기준치보다 큰 경우에는 영상경계의 천이시간만을 감소시켜 그 선명도를 향상시키는 크리스펜(crispen) 기법을 적용한다. 본 절에서는 기존 사용되는 천이향상 방법 중 하나인 크리스펜(crispen) 기법과 이와 관련된 슈트제거 방법의 문제점에 대해 살펴본다.

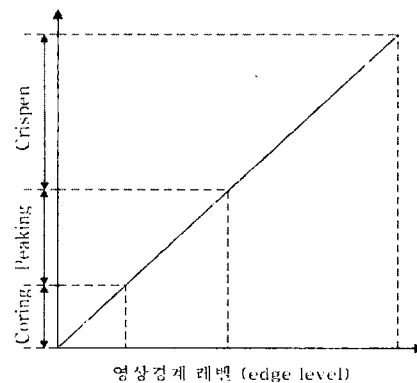


그림 1. 영상경계 레벨에 따른 휘도영상 선명도 개선 방법

Fig. 1. Sharpness enhancement method according to edge level.

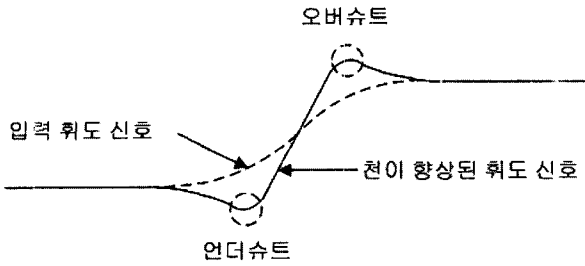


그림 2. 천이향상 시 영상경계 주변에 발생하는 오버슈트 및 언더슈트

Fig. 2. Overshoot and undershoot that occur during the transient improvement.

크리스펜^[10]은 영상경계의 천이시간을 감소시켜 완만한 경사의 영상경계를 보다 급격하게 만들어 줌으로써 영상경계를 보다 선명하게 만들어 주는 영상경계 천이향상 방법 중 하나이다. 이 기법은 입력 영상의 정규화(normalized)된 1차 및 2차 미분 값들을 이용하여 영상보정신호(correction signal)를 계산하여 입력 영상에 더해줌으로써 영상경계의 천이시간을 감소시켜 영상의 선명도를 향상시켜 준다. 하지만 그림 2에서 보는 바와 같이, 더해진 보정신호에 의해 영상경계의 천이시간은 감소되나 영상경계 주변에 슈트라 불리는 피크(peak) 형태의 국지적 잡음이 발생하게 된다. 이러한 현상은 크리스펜 과정에서 보정신호에 의해 발생하는 필연적 부작용(side effect)으로서 천이가 향상된 영상경계 주변에 시각적으로 부자연스런 영상의 왜곡을 초래할 수 있다. 이에 앞 절에서 언급된 바와 같은 다양한 슈트 제거 방법들^[6~9]이 제안되었지만, 이러한 방법들은 슈트제거 과정에서 화질의 저하를 가져올 수 있는 다음과 같은 문제점들을 가지고 있다. 먼저 슈트제거를 위해 천이향상의 계인을 함께 줄임으로써 선명도 향상의 효과를 감소시키는 문제점이다. 다음으로 모든 주파수 대역에서 일률적 슈트제거(uniform shoot elimination)를 수행함으로써 영상 내 고주파 성분들에 대해 시각적으로 더욱 민감한 영상의 왜곡을 초래할 수 있다. 예를 들어, 그림 3에서 보는 바와 같이 영상 내 자막과 같은 고주파 성분을 가지는 작은 글자들에 대해 천이향상 및 주파수 특성과 관계없는 일률적 슈트제거가 수행된 경우 영상경계의 작은 왜곡에도 불구하고 쉽게 눈에 띄는 글자들의 변형이 발생한다. 이는 영상 내 고주파 성분들에 대한 일률적 슈트제거가 비록 작지만 시각적으로 매우 민감한 영상의 왜곡을 초래할 수 있다는 것을 보여준다.

따라서 위와 같은 기존 슈트제거 방법들의 문제점들을 해결할 뿐만 아니라 디지털 TV에 사용되는 디코더

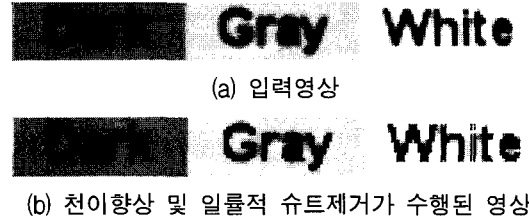


그림 3. 천이향상 및 일률적 슈트제거에 의해 발생하는 영상경계 주변의 시각적으로 민감한 영상 왜곡의 예

Fig. 3. An example of visually sensitive distortions on high frequency components caused by transient improvement and uniform shoot elimination.

SoC 등과 같은 기존 하드웨어 시스템에 보다 효율적으로 적용이 가능한 새로운 방식의 슈트제거 방법이 절실히 요구된다.

III. 제안하는 슈트제거 방법

본 논문에서 제안하는 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법은 천이가 향상된 영상경계에 적용되는 후처리 필터링(post-filtering) 방식의 슈트제거 방법으로서 수직 및 수평 방향의 최소/최대 비선형 필터들과 적응적 슈트제거 방식을 통하여 크리스펜 과정에서 발생하는 슈트를 제거한다. 제안하는 방법은 수평과 수직 방향의 영상경계에 독립적이며 동일한 방법으로 적용될 수 있으므로 본 논문에서는 수직방향의 영상경계에 적용되는 슈트제거 방법(즉, 수평 방향의 필터 및 관련 필터링 과정)에 대해서만 기술하기로 한다.

그림 4는 제안하는 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법에 대한 블록도이다. 먼저, 1차 및 2차 미분 블록은 입력 휘도영상의 1차 및 2차 미분 값들을 구하는 블록으로서, 기존의 크리스펜 과정과 제안하는 후처리 방식의 필터링 과정에 공통적으로 사용되는 블록이다. 크리스펜 블록은 입력 휘도영상의 1차 및 2차 미분 값으로부터 영상보정신호를 구하고 이를 통하여 영상경계의 천이시간을 감소시키는 천이향상 블록이다. 최소/최대 문턱 값(min/max threshold) 블록은 현재 화소에 적용될 필터의 종류(즉, 최소 혹은 최대 필터)를 선택하는데 사용되는 문턱 값을 생성하는 블록이며, 슈트 제거율(shoot elimination rate) 블록은 영상경계의 특성에 따른 적응적 슈트제거율을 생성하는 블록이다. 마지막으로 최소/최대 필터링(min/max filtering) 블록은 크리스펜 과정에 의해 발생된 슈트를 제거하기 위한 후처리 필터링 블록이다.

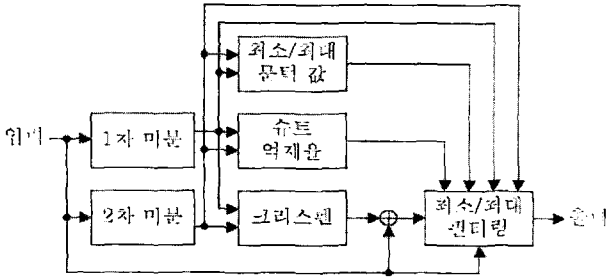


그림 4 제안한 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법에 대한 블록도

Fig. 4. Overall block diagram of the proposed nonlinear filter-based adaptive shoot elimination method.

최소/최대 비선형 필터는 크리스펜 과정에서 발생된 슈트를 제거하기 위하여 국지적 최소/최대 휘도 값을 구하는데 사용되는 필터로서 최소 필터(min filter)와 최대 필터(max filter)라 불리는 두 가지 다른 타입(type)의 비선형 필터들로 구성된다. 먼저, 최소 필터의 출력 $y_{min}(m, n)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$y_{min}(m, n) = \min(y_{in}(m, n-d), \dots, y_{in}(m, n+d)) \quad (1)$$

$y_{in}(m, n \pm d)$ 는 입력 휘도영상 내 위치 $(m, n \pm d)$ 에서의 화소 값을 나타내며, d 는 필터의 탭(tap) 크기 (탭 크기 = $2d + 1$)를 결정하는 양의 정수 값을 가지는 상수로서 입력 영상의 크기와 특성에 따라 달라진다. 이와 유사한 방식으로 최대 필터의 출력 $y_{max}(m, n)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$y_{max}(m, n) = \max(y_{in}(m, n-d), \dots, y_{in}(m, n+d)) \quad (2)$$

현재 화소에 사용될 필터의 타입은 최소/최대 문턱 값 T 에 의해 결정되는데, T 는 현재의 필터링 위치에서 발생한 슈트의 종류를 판단하는 값으로 사용된다(즉, $T \geq 0$ 경우 오버슈트, $T < 0$ 경우 언더슈트). T 는 다음과 같이 정의된다.

$$T = \text{normalize} \left(\left| \frac{\partial Y}{\partial x} \right| \right) \times \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad (3)$$

여기서, normalize 는 현재 화소의 1차 미분의 절대 값을 0부터 1사이의 값으로 정규화 함을 의미한다. 수평 방향 (horizontal 혹은 x 방향) 입력 휘도영상신호 Y 의 1차 및 2차 미분 값들은 유한 차분법(finite difference method)에 의해 근사되며, 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = (y_{in}(m, n+1) - y_{in}(m, n-1)) / 2 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} = (y_{in}(m, n) \times 2 - y_{in}(m, n+2) - y_{in}(m, n-2)) / 4 \quad (5)$$

$y_{in}(m, n)$ 은 입력 휘도영상 내 위치 (m, n) 에서의 화소 값을 나타낸다.

위에서 정의된 최소/최대 비선형 필터와 최소/최대 문턱 값을 이용하여 크리스펜 과정에서 발생한 슈트를 제거하는 과정은 다음과 같다. 먼저 오버슈트가 발생한 경우($T \geq 0$)에는 최대 필터와 적응적 슈트제거율을 기반으로 하여 다음과 같이 최종 출력 $y_{out}(m, n)$ 을 계산한다.

$$y_{out}(m, n) = \begin{cases} (1 - R_{supp}(m, n)) \times y_{in}(m, n) + R_{supp}(m, n) \times y_{max}(m, n) \\ , \text{ if } y_{max}(m, n) < y_{crispn}(m, n) \\ y_{crispn}(m, n), \text{ otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서, $y_{crispn}(m, n)$ 은 크리스펜 처리된 휘도영상 내 위치 (m, n) 에서의 화소 값을 나타낸다. $R_{supp}(m, n)$ 은 (m, n) 에 위치한 화소에 대한 적응적 슈트제거율을 나타내며, 다음과 같이 정의된다.

$$R_{supp}(m, n) = 1 - \text{normalize} \left(\left| \frac{\partial Y}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \right| \right)^2 \quad (7)$$

식 (7)에서와 같이 현재 필터링 위치에서의 슈트제거율은 입력 휘도영상신호의 영상경계 특성에 따라 적응적으로 조절된다.

다음으로 언더슈트가 발생한 경우($T < 0$)에는 최소 필터와 적응적 슈트제거율을 기반으로 하여 다음과 같이 최종 출력 $y_{out}(m, n)$ 을 계산한다.

$$y_{out}(m, n) = \begin{cases} (1 - R_{supp}(m, n)) \times y_{in}(m, n) + R_{supp}(m, n) \times y_{min}(m, n) \\ , \text{ if } y_{min}(m, n) > y_{crispn}(m, n) \\ y_{crispn}(m, n), \text{ otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

제안한 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법은 천이향상 시 발생하는 슈트를 시각적인 면에서 효과적으로 제거할 수 있도록 설계되었다. 즉, 자막과 같은 작은 글자들이나 낮은 휘도대비를 가지는 텍스처(texture) 성분들에 대해서는 슈트제거를 위한 비선형 필터링의 효과를 낮춰줌으로써 영상경계의 국지적 대비를 증가시키고 필터링에 의한 작지만 시각적으로 민감한 영상의 왜곡을 최소화시킬 수 있도록 설계되었다. 반면, 국지적 레벨 값이 큰 완만한 경사의 영상경계의 경우에는 크리스펜 효과의 감소가 전혀 없이 발생한 슈트를 효과적으로 제거시킴으로써 영상의 선명도를 보다 자연스럽게 향상시킬 수 있도록 설계되었다. IV장에서는 언급된 설계방식의 시각적 효과를 테스트영상에 대한 실험결과로서 보여줄 것이다.

식 (3)과 (7)에서 보는 바와 같이, 최소/최대 문턱 값 T 와 적응적 슈트제거율 R_{supp} 은 모두 입력 휘도영상 신호의 1차 및 2차 미분 값들로부터 계산된다. 이들 값들은 크리스펜 과정을 위해서도 역시 필요한 값들로서, 그림 4에서와 같이 전체 선명도 개선 시스템 내에서 크리스펜과 슈트제거를 위한 공통 블록으로서 구현될 수 있다. 따라서 제안한 선명도 개선 방법은 천이향상에 필요한 기본 블록들을 적응적 슈트제거를 위하여 재사용함으로써 전체 시스템의 복잡도를 효과적으로 줄여 줄 수 있다. 또한 식 (1)과 (2)에서 보는 바와 같이, 제안한 최소/최대 비선형 필터는 입력영상의 크기와 특성에 따른 가변 필터 탭을 사용한다. HD급(720p, 1080p) 휘도영상들에 대한 실험에 의하면, 4 이상의 필터 탭들은 슈트제거의 효과에 있어서 별다른 차이를 보이지 못하였다. 이에 제안한 선명도 개선 시스템에서는 필터 탭의 수를 3으로 고정하였다. 따라서 제안한 방법은 슈트제거를 위한 필터링 연산의 복잡도(complexity)를 낮게 할 수 있으며, 특히 수직방향(vertical 혹은 y 방향)의 필터링을 위한 라인 메모리(line memory)의 크기를 줄여 하드웨어 구현을 효율적으로 만들어 줄 수 있다.

IV. 실험

제안한 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법은 하드웨어로 구현되어 HDTV 디코더 SoC 내의 화질개선 모듈에 추가되었다. 성능 테스트를 위하여 표 1에서와 같은 총 17개의 실제 동영상(real world test video)들 및 인위적 테스트 패턴(artificial test pattern)들을 이용한 실험이 수행되었다. 본 논문에서는 제안된 방법

표 1. 성능 실험에 사용된 테스트 패턴 목록
Table 1. Test pattern list used for experiments.

테스트 패턴 이름	해상도
multiburst	720x480
sine_wave_h	720x480
sine_wave_h_clipped	720x480
flower	1280x720, 720x480
h_0029	720x480
h_0038	720x480
hqhand	720x288
kodak	600x405
marina	720x288
obst	852x480
pattern(ATSC standard HDTV test chart)	852x480
skin	1280x720, 720x480
mzone	1280x720, 720x480
szone	1280x720, 720x480
vts4103	1280x720, 720x480
vts4500sky	1280x720, 720x480
bigships	1280x720, 1920x1080

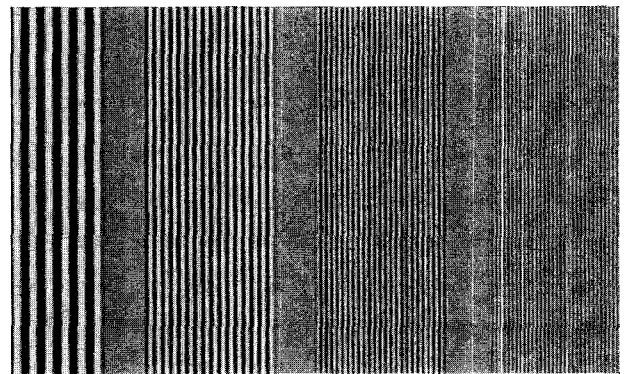


그림 5 그레이스케일 multi-burst 테스트 패턴
Fig. 5. Gray-scale multi-burst test pattern.

의 성능을 보다 잘 보여줄 수 있도록 그림 5와 같은 4가지 서로 다른 휘도레벨 및 수평방향 천이시간을 가지는 multi-burst 테스트 패턴과 그림 10과 같은 HDTV 테스트 패턴을 이용한 실험 결과에 대하여 기술하도록 한다. 실험에서는 사용자 정의 파라미터들인 크리스펜 계인과 필터 탭의 크기($2d+1$)를 각각 15와 3으로 고정하였으며, 전용 레지스터들을 통하여 파라미터의 값들을 조절할 수 있도록 구현하였다.

그림 6은 상대적으로 큰 휘도레벨 차이 및 수평방향 천이시간을 가지는 영상경계(그림 5에서 맨 왼쪽의 수직방향 줄무늬 그룹, 5 MHz)에 크리스펜에 의한 천이향상과 제안한 적응적 슈트제거 방법이 적용된 결과를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 제안한 방법은 크

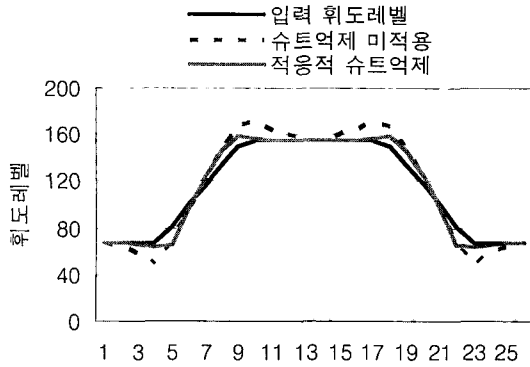


그림 6 제안한 슈트제거 방법이 상대적으로 큰 휘도레벨 차이 및 수평방향 천이시간을 가지는 영상 경계에 적용된 결과

Fig. 6. Result of the proposed shoot elimination method applied on the edges with a relatively large luminance transition time and luminance-level difference in the input multi-burst test pattern.

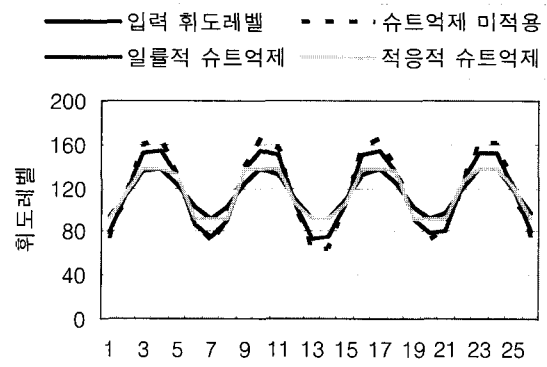


그림 8 제안한 슈트제거 방법이 상대적으로 작은 휘도레벨 차이 및 수평방향 천이시간을 가지는 영상 경계에 적용된 결과

Fig. 8. Result of the proposed shoot elimination method applied on the edges with a relatively small luminance transition time and luminance-level difference in the input multi-burst test pattern.

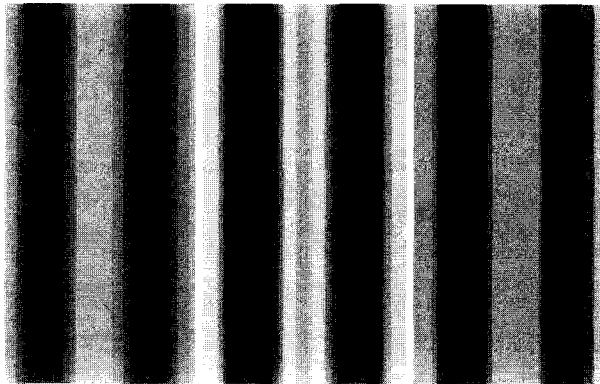


그림 7 슈트제거 과정이 적용되지 않은 결과(중간 그림) 제안한 슈트제거 방법이 적용된 결과(오른쪽 그림)의 시각적 비교

Fig. 7. A visual comparison of the luminance transient improvements with(middle image) and without the proposed shoot elimination method(right image).



그림 9 일률적 슈트제거 방법이 적용된 결과(중간 그림)과 제안한 슈트제거 방법이 적용된 결과(맨 오른쪽 그림)의 시각적 비교

Fig. 9. A visual comparison of the luminance transient improvements with the uniform elimination method(middle image) and the proposed shoot elimination method(right image).

리스펜에 의한 천이향상 효과를 감소시키지 않고 영상 경계 주변에 발생하는 슈트를 거의 완벽하게 제거한다.

그림 7은 그림 6의 결과에 대한 실제 영상들을 비교하여 보여준다. 맨 왼쪽 그림은 입력 휘도영상 내에서 상대적으로 큰 휘도레벨 및 수평방향 천이시간을 가지는 부분을 샘플한 것이다. 중간 그림은 크리스펜에 의해 천이가 향상된 영상경계에 대해 슈트제거 과정이 적용되지 않은 결과이며, 오른쪽 그림은 제안한 슈트제거 방법이 적용된 결과이다. 중간 그림에서와 같이 슈트제거 방법이 적용되지 않은 경우 천이향상 시 발생한 슈트들에 의해 영상경계 주변에 시각적으로 거슬리는 수직방향 직선들이 나타나는 것을 볼 수 있다. 반면

에 오른쪽 그림에서는 이러한 원치 않는 슈트들이 제안한 슈트제거 방법에 의해 거의 완벽히 제거됨과 동시에 천이향상의 효과 또한 그대로 유지되어 보다 선명한 영상을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 제안한 슈트제거 방법이 휘도레벨의 차이가 비교적 큰 영상의 저주파 영상경계에 대해 천이향상의 효과를 그대로 유지하면서 상대적으로 큰 슈트제거 효과를 가진다는 것을 보여준다. 즉, 슈트의 발생 없이 영상경계의 기울기만을 효과적으로 증가시켜주는 이상적 크리스펜의 효과를 가지는 것이다.

그림 8은 상대적으로 작은 휘도레벨 차이 및 수평방향 천이시간을 가지는 영상경계(그림 5에서 맨 오른쪽

의 수직방향 줄무늬 그룹, 20 MHz)에 크리스펜에 의한 천이향상 후 일률적 슈트제거가 적용된 결과와 제안한 적응적 슈트제거가 적용된 결과를 비교하여 보여준다. 그림 8의 하늘색 선과 같이 일률적 슈트제거의 적용은 피크(peak)와 같은 형태로 발생하는 슈트(그림 8의 점선)들을 거의 완벽하게 제거한다. 하지만 이 경우와 같이 작은 휘도레벨 차이(낮은 휘도대비)를 가지는 고주파 성분의 영상경계에 대해서는 일반적으로 피크 형태의 슈트가 영상의 국지적 대비를 증가시키는 효과를 가져올 수 있어 슈트를 어느 정도 유지시키는 것이 선명도 개선에 도움을 줄 수 있다. 이에 그림 8의 빨간색 선과 같이 제안한 적응적 슈트제거 방법은 영상경계의 특성에 따라 피크 형태의 슈트를 적응적으로 유지시켜 낮은 휘도대비를 가지는 영상경계를 보다 선명하게 만들어준다. 그림 9는 그림 8의 결과에 대한 실제 영상들을 비교하여 보여준다. 맨 왼쪽 그림은 입력 휘도영상 내에서 상대적으로 작은 휘도레벨 및 수평방향 천이시간을 가지는 부분을 샘플한 것이다. 중간 그림은 천이향

상 후 일률적 슈트제거가 적용된 결과를 보여주며, 오른쪽 그림은 제안한 적응적 슈트제거가 적용된 결과를 보여준다. 이와 같은 결과는 제안한 적응적 슈트제거 방법이 작은 휘도레벨 차이를 가지는 고주파 성분의 영상경계에서 영상경계의 특성에 따라 적응적으로 슈트를 제거함으로써 영상의 선명도를 보다 향상시킨다는 것을 보여준다.

그림 10은 자막과 같은 작은 글자들을 포함하는 HDTV 테스트 패턴의 하나를 보여주며, 그림 11은 이 테스트 패턴을 이용한 실험 결과들을 비교하여 보여준다. 맨 위의 그림은 입력 휘도영상이며, 위에서 두 번째 그림은 천이향상 후 슈트제거 과정이 적용되지 않은 결과를 보여준다. 슈트제거 과정이 없는 경우 글자들 주변에 발생하는 슈트들로 인해 시각적으로 매우 거슬리는 강한 잡음(글자들 주변의 흰색 성분들)들을 볼 수 있다. 세 번째 그림에서는 이러한 슈트들이 일률적 슈트제거에 의해 제거된 것을 볼 수 있다. 하지만 이 경우 일률적 슈트제거에 의해 글자들(특히, G, y, W) 자체에 시각적으로 매우 민감한 변형이 발생한 것을 볼 수 있다. 즉, 글자들을 구성하는 얇은 선들에 대한 작은 변형이 시각적으로 매우 민감한 변형을 초래하는 것이다. 맨 아래 그림에서는 제안한 적응적 슈트제거 방법에 의해 글자들 주변에 발생하는 강한 잡음과 글자들 자체에 발생하는 시각적으로 민감한 변형 모두가 적절히 최소화된 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 제안한 적응적 슈트제거 방법이 영상 내 글자들과 같은 고주파 성분에서 발생할 수 있는 시각적으로 민감한 잡음과 변형을 효과적으로 방지하여 영상을 보다 선명하고 깨끗하게 만들어 준다는 것을 보여준다.

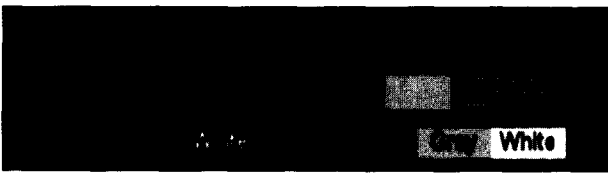


그림 10. 자막과 같은 작은 글자들을 포함하는 HDTV 테스트 패턴의 예
 Fig. 10. An example of HDTV test patterns containing small characters such as caption.

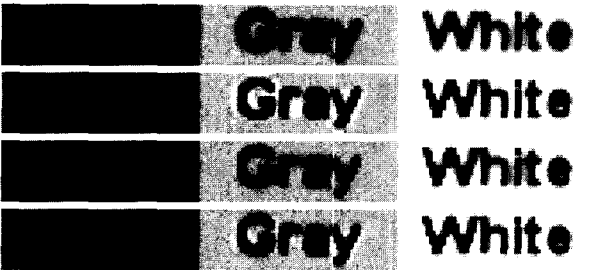


그림 11. 작은 글자들에 대해 천이향상 후 슈트제거 과정이 적용되지 않은 결과(위에서부터 두 번째 그림), 일률적 슈트제거 방법이 적용된 결과(세 번째 그림), 및 제안한 슈트제거 방법이 적용된 결과(맨 아래 그림)의 시각적 비교
 Fig. 11. A visual comparison of the luminance transient improvements applied on the small characters without any shoot elimination method(the second image from the top), with the uniform elimination method(the third image), and the proposed shoot elimination method(the bottom image).

V. 결 론

본 논문에서는 천이향상에 의한 휘도영상의 선명도 개선 시 영상경계 주변에 발생하는 시각적으로 부자연스러운 슈트를 제거하여 보다 선명하고 깨끗한 영상을 얻게 해주는 새로운 비선형 필터 기반의 적응적 슈트제거 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 후처리 방식의 최소/최대 비선형 필터링과 적응적 슈트제거 방법을 통하여 영상경계의 특성에 따라 적응적으로 슈트를 제거한다. 제안한 방법의 장점들은 다음과 같다. 첫째, 천이향상의 정도는 그대로 유지하면서 영상의 왜곡을 초래하는 슈트를 거의 완벽히 제거한다. 둘째, 적응적 슈트제거를 통하여 시각적으로 민감한 영상의 왜곡을 최

소화함으로써 영상의 선명도를 보다 자연스럽게 향상시킨다. 셋째, 기본 블록들의 재사용과 후처리 방식의 필터링을 통하여 기존 선명도 개선 하드웨어 시스템의 개선작업을 보다 효율적으로 만들어준다. 제안한 방법은 디지털 모니터/TV, 디지털 카메라/캠코더, PMP, PDA, 휴대폰 등을 위한 화질개선 장치에 널리 응용될 수 있다.

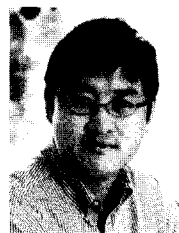
참 고 문 헌

[1] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1992.
 [2] J. Russ, *The Image Processing Handbook*, 3rd ed., CRC Press & IEEE Press, 1998.
 [3] K. Ohara, "Digital Color Transient Improvement," Patent US5920357, July 1999.
 [4] H. Choi, S. Park, G. Jang, and C. Kim, "Color Transient Improvement (CTI)," *ICCE 2000 Digest of Technical Paper*, pp. 64-65, June 2000.
 [5] P. Lin and Y. Kim, "An Adaptive Color Transient Improvement Algorithm," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 4, pp. 1326-1329, November 2003.
 [6] Y. Kim and X. Wang, "Method and apparatus for shoot suppression in image detail enhancement," Patent KOR 10-0490432-0000, May 2005.
 [7] Y. Kim and X. Wang, "Method for enhancing a digital image while suppressing undershoots and overshoots," Patent KOR 10-0440974-0000, July 2004.
 [8] 조진수, 배종우, "이미지 신호 천이 향상 시 슛 제거 방법 및 이를 위한 화질 개선 장치", 대한민국 특허 출원, 출원번호 P2006-0015129, 2006년 5월.
 [9] 조진수, "국지적 최소/최대 필터링 기반의 슈트 제거 방법," *대한전자공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 614-617, 한양대학교, 대한민국, 2006년 11월.
 [10] Technical Report of Cupid Project, DM R&D Center, Samsung Electronics, 2002.

저 자 소 개



조진수(정회원)
 1994년 인하대학교
 전자공학과 학사
 1998년 Columbia University
 전자공학과 석사
 2003년 Georgia Institute of
 Technology
 전자공학과 박사
 2004년~2006년 삼성전자 시스템LSI D-TV
 개발팀 책임연구원
 2006년~현재 경원대학교 IT대학 소프트웨어학부
 전임강사
 <주관심분야 : 영상처리 및 압축, 화질개선, 디지털 TV, 디지털콘텐츠>



배종우(정회원)-교신저자
 1988년 서울대학교
 제어계측공학과 학사
 1989년 University of Southern
 California 컴퓨터공학과
 석사
 1996년 University of Southern
 California 컴퓨터공학과
 박사
 1996년~1999년 미국 산호세 Actel 주식회사
 스텝 아키텍처 엔지니어
 1999년~2002년 미국 산호세 Avanti 주식회사
 선임 소프트웨어 엔지니어
 2002년~2002년 미국 산호세 Pulsent 사
 아키텍처 엔지니어
 2003년~2007년 삼성전자 시스템LSI D-TV
 개발팀 수석연구원
 2007년~현재 명지대학교 공과대학 정보공학과
 조교수
 <주관심분야 : VLSI/SoC 설계, 영상처리 및 압축, 디지털 TV, 프로세서>