시각 모델을 고려한 인지 대비 측정 및 영상품질 향상 방법에 관한 연구

최종수[†] · 조희진

국방기술품질원

A Study on Perceived Contrast Measure and Image Quality Improvement Method Based on Human Vision Models

Choi, Jong Soo[†] · Cho, Heejin

Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ)

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to propose contrast metric which is based on the human visual perception and thus it can be used to improve the quality of digital images in many applications.

Methods: Previous literatures are surveyed, and then the proposed method is modeled based on Human Visual System(HVS) such as multiscale property of the contrast sensitivity function (CSF), contrast constancy property (suprathreshold), color channel property. Furthermore, experiments using digital images are shown to prove the effectiveness of the method.

Results: The results of this study are as follows; regarding the proposed contrast measure of complex images, it was found by experiments that HVS follows relatively well compared to the previous contrast measurement.

Conclusion: This study shows the effectiveness on how to measure the contrast of complex images which follows human perception better than other methods.

Key Words: Perceived Contrast, Contrast Sensitivity Function(CSF), Human Vision System(HVS), Adaptation, Contrast metric

● Received 26 July 2016, 1st revised 21 August 2016, accepted 22 August 2016

† Corresponding Author(ie7475@naver.com)

© 2016, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

일반적으로 영상의 대비(contrast)는 배경 영상과 목표 영상의 상대적인 값의 차이에 의해서 구할 수 있다. 하지만 복잡한 영상의 경우 객관적인 대비 측정 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음에도 불구하고, 인간의 시각 시스템의 인지 능력과 부합하는 대비 측정 방법이 부족한 것이 사실이다. 대비는 영상의 고유한 특징 중 하나로서, 해당 영상의 품질을 나타내는 하나의 객관적인 척도로 사용될 수 있다. 그 결과 영상 및 신호처리 분야에서는 좀 더 선명한 대비를 갖는 영상을 얻기 위한 노력으로 복잡한 영상의 대비를 증가시키고자 하는 노력을 진행하고 있으며, 인간이 인지하는 대비를 정량적으로 측정하기 위한 객관적인 대비 측정 방법에 대한 연구도 활발히 진행 하고 있다. 이러한 연구는 사람들이 소비(consume)하는 영상에 대한 품질의 한 척도로서 ‘대비’가 사용될 수 있다는 의미이며, 이러한 맥락에서 실제 인간(또는 시각시스템)이 인지하는 대비와 최대한 일치하는 대비 측정 방법에 대한 연구는 매우 중요하다. 실제로 오랫동안 대비 측정에 대한 여러 가지 방법들이 제안되었고 간단한 영상에 관한 대비 측정 방법으로 여러 가지 전통적인 방법이 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 기존의 대비 측정 방법들은 실제로 인간이 인지하는 대비와는 차이가 있고, 이로 인하여 복잡한 영상(complex image)에서의 인간의 인지 정도와 일치하는 대비 측정에는 한계가 있다. 결국, 이전의 방법으로 동일한 대비 값을 얻은 두 영상이라 할지라도 실제로 인간이 느끼기에는 다른 대비로 느낄 수 있고, 반대로 다른 대비 값을 가지는 영상일 지라도 사람은 같은 대비로 인지하는 상황도 있을 수 있을 것이다. 그러므로 올바른 대비 측정 방법은 영상을 인지하는 인간이 느끼는 대비와 일치하는 결과를 나타낼 수 있는 측정 방법이어야 한다.

위에 언급된 객관적인 대비 측정에 관한 요구를 만족하기 위하여 본 논문에서는 영상품질의 척도 중 하나인 대비에 대하여 사람의 인지 수준을 보다 적절히 표현하는 대비 측정방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 특히, 인간의 시각 특성에 대한 연구 및 이를 포괄적으로 접목한 사람이 실제 느끼는 대비 즉, 인지 대비(perceived contrast)라는 새로운 개념을 제시하고, 이에 대한 측정방법에 대하여 제안한다. 구체적으로, 실제 영상의 대비에 관한 최종 수신단은 인간의 시각 시스템을 고려하여, 복잡한 인간의 시각시스템을 고려한 인지 대비 값을 정의 하고자 한다. 그러므로 이를 이해하기 위해서는 인간의 몇 가지 중요한 시각시스템 특성을 알아볼 필요가 있다. 이 논문에서는 인지 대비 측정 과정 중 고려할 중요한 인간의 시각 특성으로 적응(adaptation)에 따른 역치(threshold)의 변화 특성, 공간 주파수 상의 대비 민감도 역치특성 및 역치 상 특성, 그리고 대비 민감도함수의 멀티 스케일특성 등이 있는데, 이는 Peli(1990), James(1996) 및 Sumanta(1998)을 참고하였으며 Section 3에서 구체적으로 언급하도록 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 기존의 대비 측정 방법에 비해 인간이 실제 인지하는 정도를 보다 잘 표현하는 방법이며, 이는 실험을 통하여 정량적으로 제시하였다.

이 논문은 아래와 같이 구성되어 있다. Section 2에서 간단한 영상 및 복잡한 영상의 대비 측정에 널리 사용되고 있는 대비 측정 방법에 대한 소개와 그 측정 방법의 한계점에 대해서 언급한다. Section 3에서는 제안하는 인지 대비에 대한 이해를 위해 인간의 시각특성을 언급하고, 이를 바탕으로 언급된 시각특성을 포괄한 인지 대비 측정 방법을 Section 4에서 제안한다. Section 5에서는 실험을 통하여 인지 대비 측정에 관한 실험을 하고 이전 대비 측정 방법을 통해서 얻은 대비 결과와 비교를 수행 한다. 그리고 마지막 Section 6에서 결론 및 향후 연구 방향을 언급 하도록 한다.

2. 관련 연구

전통적으로 널리 쓰이는 대표적인 영상의 대비 측정 방법으로서 Michelson 대비가 있다(Peli, 1990). 이 방법은, 디스플레이 산업에서 널리 쓰이고 있는 방법으로써, 주기적 영상의 최대 휘도성분 및 최저 휘도성분을 이용하여 구하는 방식이다. 특히 잡음이 없는 단순한 주기적인 신호의 영상에 대한 대비 측정에 적합하다. Weber 대비 측정 방법도 인간의 시각 적응에 관한 대비 측정 등에 사용되는 간단한 측정 방법 중 하나이다(Sumanta, 1998). 상기 두 가지의 대비 측정 방법은 여러 목적에 사용이 되고 있지만 두 방법 모두 컬러 영상에 대한 대비 측정에는 부적합하며, 복잡한 자연 영상에 대한 대비 측정에도 한계가 있다. 또한 위의 두 방법 모두 인간의 시각 특성을 고려하지 않은 대비 측정 방법이기 때문에 실제로 인간이 인지하는 인지 대비와 일치하지 않는 단점이 있다. 그 밖에, Peli(1990)는 인간의 공간주파수상의 시각 시스템 특징을 이용하여 지역적 제한대역 대비(local band-limited contrast)를 정의하였지만, 이 또한 컬러 영상에의 적용 및 보다 복잡한 시각 인지 특성을 고려하지 못한 점에서 한계가 있다.

3. 시각시스템 특성

3.1 적응에 따른 역치 특성

일반적 주위환경에 존재하는 빛의 범위는 대략 $14 \log \text{cd/m}^2$ 의 동적 범위(dynamic range)를 가진다(James, 1996). 그러나 보통시력을 가진 인간의 시각 시스템에 존재하는 신경세포들은 제한된 시간 내에서 이러한 방대한 범위의 빛에 대하여 약 $1.5 \log \text{cd/m}^2$ 정도의 제한적인 반응만이 가능하다. 하지만, James(1996)에 따르면 인간의 시각 시스템은 적응(adaptation)이라는 과정을 거쳐 주위의 여러 가지 다른 밝기에 대하여 사물을 구분할 수 있게 되며, 이를 시각시스템의 적응 특성이라 한다. Sumanta(1998)에 따르면, <그림 1>과 같이 주위의 밝기에 적응된 시각은 해당 밝기에 따라 다른 역치 값($1/\text{sensitivity}$)을 가지게 된다. 즉, 주위 밝기가 증가함에 따라 선형적으로 역치 값이 상승하게 되는데 이러한 영역을 Weber 영역이라 한다. 결국, Weber 영역에서는 대비를 인지 할 때 항상성이 유지됨을 알 수가 있다. Weber 영역에서의 대비 민감도의 항상성 유지는 각기 다른 주위 밝기에 따라서 대비인지를 유지시켜준다는 측면에서 매우 중요한 시각시스템의 역치영역 특성이라고 할 수 있다.

Figure 1. Sensitivity vs background Intensity(L_a) functionas

Figure 2. Typical Contrast Sensitivity Function(CSF)

3.2 공간주파수 영역에서의 역치 특성

Wilson(1991)에 따르면 인간의 시각은 또한 <그림 2>와 같이 공간 주파수 대역에 따라 대비 민감도(contrast sensitivity)가 달라지는 특성이 있다. 이러한 특성은 대비 민감도 함수(contrast sensitivity function)에 의해서 설명 될 수 있는데, 이는 균일한 배경을 가진 다른 공간주파수 성분을 갖는 여러 다른 물체의 가시예측 등에 유용한 정보를 제공한다. 또한 인간의 시각 시스템은 한 개의 무색 채널(achromatic channel)과 두개의 색채 채널(chromatic channel)로 나뉘어져 있으며 각각의 채널에 대하여 각기 다른 대비 민감도 함수 형태가 존재 한다고 알려져 있다(Hurvich, 1981). 이때 두 개의 색채채널은 red/green에 민감한 채널과 yellow/blue에 민감한 채널로 나뉘어 지게 된다. 즉 흑백의 정도를 감지하는 하나의 무색채널과 컬러 성분을 감지하는 두 개의 색채채널의 각각의 대비 민감도에 따라서 인간은 영상의 대비를 인지하게 되는 것이다. <그림 2>에서 실선은 전형적인 무색채널의 대비 민감도 함수를 나타내고, 점선은 red/green채널의 대비 민감도 함수를 나타내고 있다. 그림에서 주지해야 할 것은 대개 무색 채널의 역치특성은 공간적 주파수 영역에서 대역 제한 필터의 형태를 띠게 되고, 2~8cycles/degree 자극(stimuli)에 가장 큰 민감도를 보이게 된다는 것이다. 그리고 두개의 색채채널은 공간 주파수 영역에서 저역 필터 형태를 띠며, 공간 분해능이 전체적으로 무색 채널보다 떨어지는 특징을 가지고 있다(Kathy, 1985). 참고로 <그림 2>의 대비 민감도 함수는 보통 시력을 가진 사람의 전형적인 대비 민감도 함수를 나타내고 있고, 이러한 대비민감도 특성은 개인마다 각기 다른 특징이 있을 수 있다.

3.3 적응 및 CSF의 멀티메커니즘 특성

인간이 한 광경 및 그를 표현한 영상 등을 볼 때, 인간의 시각 시스템은 그 광경이 보이는 시야각(visual field) 내에서 지역적 적응(local adaptation)을 하게 된다. 지역적 적응이란, 시야각 내의 광경에서 지역적인 밝기 에 따라 인간의 시각 시스템이 적응함으로써 지역적으로 각기 다른 역치 특성을 보이게 됨을 의미한다. 이는 실생활에서 많이 경험할 수 있는 특징으로서 특히 높은 동적범위를 가지는 영상 등을 볼 때 밝기가 다른 부분들에 대해서 적응에 의해 보다 향상된 시각 능력을 보일 수 있음을 의미한다. 실제로 디스플레이 장치를 통해 디지털 영상을 보고 있을 때에는 영상의 어느 정도의 영역의 크기로 적응을 할지가 매우 모호해 질 수 있다. 하지만 이러한 특징을 모델링 할 경우에는 응용에 따라서 다양한 방법이 있을 수 있다. 예를 들어, 각각의 픽셀을 적응 단위로 볼 수 있고, 일정 주변 픽셀까지 고려하는 방법도 가능 할 것이다.

이러한 공간에서의 지역적 밝기에 따른 적응 특성 이외에 인간의 대비 민감도는 망막 상에 존재하는 광수용체 및 여러 세포들의 고유한 프로세싱을 통해 특정 공간주파수 영역에 민감한 멀티메커니즘으로 존재함이 증명되었다(Wilson, 1991). 이는 인간이 한 광경을 볼 때 망막에 맺히는 영상(retinal image)이 망막 상에서 필터링을 통해서 특정 공간주파수 영역의 영상들을 생성해 낸다고 해석 할 수 있다. <그림 3>에서와 같이 각각의 메커니즘들의 중앙 공간 주파수는 0.5cycles/degree(cpd)에서 16cpd까지의 옥타브 대역을 나타낸다. <그림 3>은 전형적인 보통시력을 가진 사람의 무색채널의 대비민감도 함수를 나타내고 있는데, 무색채널의 대비 민감도 함수는 대역제한 필터와 같은 역할을 하는 여러 개의 메커니즘들의 집합 형태로 존재함을 확인할 수 있다. 또한 두 개의 색채 채널에 대해서도 무색채널과 마찬가지로 멀티메커니즘을 형성하고 있다(Losada, 1994).

3.4 공간주파수 영역의 역치 상 특성

시각 시스템의 적응 및 공간주파수 영역에서의 대비 역치 특성과 더불어 역치 상(suprathreshold) 특징은 중요한 인간의 시각 시스템 특징 중 하나이다. 이는 단지 보이는 영역과 보이지 않는 대비 영역을 공간 주파수 영역 상에 분포하는 대비 민감도 함수에 따라서 이분하는 역치 특성에 대한 고려뿐 아니라 역치 이상의 영역의 자극에 대한 시각 시스템의 반응까지 고려함을 의미한다. Wilson(1991) 등에 의해 행해진 주관적 대비 매칭 테스트 결과에 의하면 인간의 시각 시스템은 역치 값 근처의 대비 레벨에서는 앞서 언급한 바와 같이 대비 민감도 함수를 따르고, 역치 값을 일정범위 초과하는 레벨에서는 영상의 공간주파수에 따라서 대비 민감도가 일정함을 실험을 통해 증명 하였다. 이처럼 각기 다른 공간주파수 영역에 대해 일정한 대비 민감도를 갖게 되는 특징을 대비 항상성(contrast constancy)라 한다.

Figure 3. Multiscale characteristic of achromatic CSF

Figure 4. Diagram to obtain perceived contrast images

4. 인지대비(Perceived Contrast) 측정방법

<그림 4>는 이 논문에서 제안하는 인지대비 측정을 위한 전체적인 다이어그램을 나타낸다. 인지대비는 3장에서 언급한 시각시스템 특성을 반영한 것이며, <그림5>에서 Lena영상을 실제 적용하여 다이어그램에 나타난 각각의 단계를 시뮬레이션/도식화하였다.

Figure 5. Simplified process to obtain perceived contrast images

<그림 5>에서 표시된 입력 영상은 망막 상 영상(Retinal Image)을 나타내며, 다른 망막 상 영상들에 대해서도 동일한 과정을 거치게 된다. 또한 <그림 5>는 총 여섯 개의 대역 분해 영상 중 두 대역 분해 영상만을 나타낸 간략화된 그림이다. <그림 4>와 <그림 5>에서 나타난 과정에 대한 보다 자세한 설명은 다음과 같다.

4.1 망막 상 영상(retinal image)

실제 광경 및 그를 대변하는 영상을 우선 인간의 눈의 망막에 맺히게 되는데 이때의 영상을 망막 상 영상이라 한다. Sumanta(1998)에 따르면 망막상 영상은 망막에 존재하는 원추세포(cone) 및 간상세포(rod) 등의 광수용체(photoreceptor)라는 일종의 시각 센서가 감지하는 영상으로 근사화(또는 시뮬레이션)가 가능하다. 망막 상 영상으로의 시뮬레이션 영상을 얻기 위해 R, G, B로 구성된 영상을 CIE 표준 색체계의 XYZ 삼차극치값으로 변환하고, 식 (1)의 근사 변환식을 통하여 망막 상의 영상으로 근사화 할 수 있다(Sumanta, 1998).

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R = -0.702X + 1.039Y + 0.433Z$$

아래의 <그림 6>은 512x512 해상도를 갖는 Lena(컬러) 영상에 대하여 망막 상 영상(L, M, S, Rod)을 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다.

Figure 6. Test Input image and retinal images

4.2 대역 분해 영상(spatial decomposition image)

Section 2에서 언급한 바와 같이 인간의 시각특성 중 대비 민감도의 멀티 메커니즘 특성을 고려하기 위한 첫 번째 단계로서 입력 영상을 공간주파수 상에서 분해를 해야 한다. 논문에서 구현된 알고리즘에서는 대비 민감도를 여섯 개의 멀티 메커니즘으로 가정하고 각각의 대역의 중심 주파수는 0.5, 1, 2, 4, 8 및 16 cycles/degree(cpd)의 옥타브 대역을 갖도록 한다. 이러한 멀티메커니즘 특성을 만족시키기 위해서 Peter(1983)이 제안한 가우시안 피라미드 방법을 동일하게 적용하였다. 이는 망막 상 영상 각각에 대해 2차원 5탭 가우시안 공간필터를 사용함으로써, 순차적인 저역 필터링 된 영상을 얻는 방법이며, 이는 완벽하게 복원이 가능한 방법이다. 가우시안 피라미드를 형성하기 위한 방법은 아래의 식 (2)와 같다. 그 후 원 영상과 동일한 해상도를 갖게 하기 위해서 식 (3)과 같이 가우시안 보간(interpolation)을 통해 동일 해상도의 영상으로 복원하였다.

$$g_l(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) g_{l-1}(2i+m, 2j+n) \quad (2)$$

$$g_{l,n}(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) g_{l,n-1}\left(\frac{i-m}{2}, \frac{j-n}{2}\right) \quad (3)$$

참고로, 위의 식에서 i, j 및 l 은 각각 망막 상 영상의 픽셀 및 피라미드상의 레벨을 나타내고, w 는 2차원 5탭 가우시안 필터이다(1D 필터계수: 0.05, 0.25, 0.4, 0.25, 0.05). 입력 영상의 대역 분해영상에 대한 시뮬레이션 사례는 section 5의 <그림 7> 첫 번째 열에 나타내었다.

4.3 라플라시안 영상(laplacian image)

대역 분해의 결과는 단지 저역 통과 필터링의 효과만을 나타내는 것이고, 시각 시스템의 멀티 메커니즘을 나타내기 위해서는 특정 제한된 대역에 특화된 여러 개의 메커니즘을 생성해야 한다. 즉, 라플라시안 영상을 만드는 목적은 원영상의 대역 분해된 영상을 특정 공간주파수 대역에 민감한 여러 개의 대역 제한된 대비 민감도 함수로 나누고, 이는 곧 나누어진 각각의 대비 민감도 함수, 즉 각각의 메커니즘들에 의해 감지되는 여러 개의 영상으로 시뮬레이션할 수 있음을 의미한다. 이때 실제로는 각각의 멀티 메커니즘들이 그림 3에서와 같이 인접한 메커니즘끼리는 서로 영향을 준다고 알려져 있지만 제안된 방법에서는 대역 제한된 각각의 메커니즘들이 서로 독립적임을 가정한다. 망막 상의 프로세싱을 거친 서로 독립적인 여섯 개의 대역 제한된 출력 영상 시뮬레이션은 식 (4)를 통해 얻을 수 있다.

$$Laplacian_l(i, j) = g_{l+1}(i, j) - g_l(i, j) \quad (4)$$

위 식에서 (i, j) 는 대역 분해 영상을 의미하고, l 을 가우시안 피라미드 상의 레벨을 의미한다. 입력 영상의 대역 분해를 거친 후 구해진 라플라시안 영상에 대한 시뮬레이션 사례는 section 5의 <그림 7> 두 번째 열에 나타내었다.

4.4 적응 대비도(adapted contrast) 및 색차변환 영상

앞서 인간의 시각시스템 특성 중 밝기에 따른 역치 변화특성을 언급하였다. 원추세포 및 간상세포에 의한 시물레이션된 라플라시안 영상을 얻은 후, 각각의 대역에 해당하는 영상에 대해서 주위 밝기에 따른 역치 특성을 고려해 준다. 인간의 시각 시스템 특성은 그림 1에서와 같이 밝기가 증가할수록 시각의 민감도는 떨어지고, 어두운 곳에서는 민감도가 증가하는 특징이 있는데, 이를 정신 물리학 적인 실험을 통해 도출된 이득함수(gain function)의 이득 값을 밝기에 따라 조절해줌으로서 적응 특성을 모델링 할 수 있다. 식 (5) 및 (6)은 각각 객관적인 데이터를 바탕으로 정해진 원추 세포 및 간상세포에 해당하는 이득 함수를 나타낸다[3]. 각각의 대역분해 영상을 이용해 이득 값을 픽셀마다 아래의 식들을 통해 얻고, 그 이득 값을 (7)식과 같이 해당하는 라플라시안 영상의 해당 픽셀에 곱해줌으로서 주위의 밝기에 적응된 대비 영상(adapted contrast image)을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 인간의 시각이 영상의 픽셀단위로 적응함을 전제로 하여 구해진 결과이고, 이는 목적에 따라 보다 현실적인 여러 가지 적응의 형태로도 구현 될 수 있다.

$$gain_{cone}(I) = \frac{1}{0.555(I+1.0)^{0.85}} \quad (5)$$

$$gain_{rod}(I) = \left[\frac{10}{I^2 + 10} \right] \left[\frac{1}{0.908(I+0.01)^{0.85}} \right] \quad (6)$$

$$C_{adapted}(i,j) = G(g_l) Laplacian_l(i,j) \quad (7)$$

위의 식 (5)와 (6)에서 확인 할 수 있듯이, 밝기(I)가 증가할수록 해당 대역 특정 픽셀 값의 이득이 작아지고 반대로 밝기가 감소할수록 이득이 커짐을 알 수 있다. 이는 적응에 따른 대비 역치 변화 특성을 잘 나타내 주는 것이다.

$$\begin{bmatrix} a \\ c1 \\ c2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.0 & 1.0 & 0.05 \\ 1.0 & -1.09 & 0.093 \\ 0.11 & 0.11 & -0.22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (8)$$

적응 대비도 영상을 얻은 후, 원추세포 및 간상세포에 의한 시물레이션 영상들은 Fairchild(1998)에 의해 제안된 식(8)을 통해 한 개의 무색채널(a) 및 두 개의 색채채널(c_1, c_2)로 변환 시켜준다. 이 과정은 인간의 대비 민감도 함수가 앞서 언급한대로 하나의 무색채널 및 두 개의 색채채널, 즉 세 개의 채널로 이루어져 있음을 모델링하는 것이다.

section 5에 나타난 그림 7의 세 번째 열은 (5), (6), (7) 및 (8)식을 통해 얻어진 무색채널의 공간주파수에 따른 적응 대비 영상의 결과를 나타내 준다.

4.5 인지 대비 영상(perceived contrast image)

실제 많은 영상에서 역치 근처의 대비 외에도 역치 이상의 대비가 존재 할 수 있기 때문에, 역치 이상의 영역에서의 시각시스템의 특성을 고려해 주어야 함을 언급 하였다. 그러므로 밝기를 고려한 적응 대비 영상은 인간의 시각 시스템 특성 중에서 최종적으로 역치 상 특성을 고려해 줌으로서 실제 인간이 인지하는 대비와 비슷한 값을 얻을 수 있을 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 인간의 시각 시스템은 낮은 대비를 가지는 영상에 대해서는 대비 민감도가 공간 주파수에 따라 전형적인 대비 민감도 함수의 형태를 띠고, 영상의 대비가 증가함에 따라 대비 민감도가 공간 주파수와 무관하게 동일한 민감도를 가지는 이른바 대비항상성 특징이 있음을 언급 하였다. 인지 대비 값은 모든 적응 대비 영상의 픽셀 값을 정신 물리학적인 객관적 데이터에 근거해 도출된 아래의 식을 이용하여 변환함으로써 구할 수 있다.

$$P_{cone,a}(i,j) = \begin{cases} 22.4 \left(\frac{C_{adapted}(i,j)}{0.536} \right)^{\frac{1}{2}}, & \text{if } c \geq 0.536 \\ 22.4 \left(\frac{C_{adapted}(i,j)}{0.536} \right)^k, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$P_{cone,cl,c2}(i,j) = \begin{cases} 22.4 \left(\frac{C_{adapted}(i,j)}{0.176} \right)^{\frac{1}{2}}, & \text{if } c \geq 0.176 \\ 22.4 \left(\frac{C_{adapted}(i,j)}{0.176} \right)^k, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$P_{rod}(i,j) = \begin{cases} 22.4 \left(\frac{C_{adapted}(i,j)}{0.0335} \right)^{\frac{1}{2}}, & \text{if } c \geq 0.0335 \\ 22.4 \left(\frac{C_{adapted}(i,j)}{0.0335} \right)^k, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

식 (9)부터 (11)에서 는 적응대비 영상에 포함된 각각의 픽셀 값을 의미하며, Sumanta(1998)과 같은 방법으로 멀티 채널별로 민감도에 따른 가중치(k)를 부여해서 여섯 개의 서로 다른 대역을 구분하였다. 아래의 표 1은 Sumanta(1998)에서 실험적인 데이터에 의거해 얻어진 대역에 따른 k값을 나타낸다.

Table1. k values in terms of spatial frequency and different channels

Spatial Frequency(cpd)	0.5	1	2	4	8	16
cone(achromatic channel)	1.93	4.35	1.15	1.04	1.15	1.40
cone(chromatic channel)	1.93	1.93	2.35	2.85	-	-
rod	3.39	3.39	4.50	7.64	-	-

표1의 k값의 변화를 통해 알 수 있듯이, 일정 이하의 대비 값에 대하여 공간 주파수에 따라 각기 다른 대비 역치 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 역치 근처의 대비 값에 대해서는 전형적인 대비 민감도 함수의 역치 값을 따르게 하기 위함이다. 예를 들어, 무색채널의 경우 2에서 8cpd 근처에서 가장 낮은 대비 역치 값을 가지게 되고 이는 그림 3의 전형적인 대비민감도 함수의 결과와 일맥상통 한다. 반대로 일정 대비 이상의 값을 가질 때는 대비 항상성 특성을 만족하기 위해서 공간주파수에 상관없이 제공된 형태의 변환식이 적용된다. 이는 역시 일정 대비 값 이상의 영역(역치 상 영역)에서는 대비 항상성을 유지 시켜주기 위함이다. 입력 영상에 대한 인지대비 영상에 대한 시뮬레이션 사례는 section 5의 <그림 7> 첫 번째 열에 나타내었다.

4.6 최 저역 대역(Lowest band)의 고려

<그림 4>의 전체 과정을 거쳐 입력 영상의 여섯 개의 공간 주파수 대역에 따른 인지 대비영상을 구할는 방법을 언급하였다. 하지만 인지대비 측정 및 영상 시뮬레이션 시 입력영상의 형태로 온전하게 복원시키기 위해서는 대역 분해 과정중 남은 최저 대역 영상에 대한 고려를 반드시 해 주어야 한다. 즉 최저 대역 영상은 0.5cpd 이하의 대역에 해당하는 영상이고, 인지 대비 계산 시 이 영상에 대한 고려를 반드시 해 주어야 한다. 그러므로 최저 대역 영상을 <그림 4>의 전 과정을 별도로 시행 하는 과정을 거쳐야 인지 대비 영상을 통한 원영상의 복원 시 원하는 결과 영상을 얻을 수 있다.

4.7 인지대비 측정 방법

설명된 전체 과정을 거쳐 최저 대역을 포함한 총 7개의 대역에 관한 인지 대비 영상을 얻었다면, 입력 영상의 인지 대비 값을 아래의 식(12)을 통해 구할 수 있다. 식 (12)는 앞서 기존 대비 측정 방식과 달리 앞서 언급한 시각시스템을 고려하여 본 논문에서 제안하는 방식이다. 아래의 식(12)에서, a 는 무색 채널의 평균 인지 대비, $c1$ 과 $c2$ 는 각 색채 채널의 평균 인지 대비를 나타낸다. $N_c(=7)$ 는 최저 대역을 포함한 대역 수, W 와 H 는 각각 영상의 너비와 높이를 나타낸다. i, j 및 k 는 각각 인지 대비 픽셀 및 공간주파수 상의 대역을 나타낸다. 또한 인지 대비 값을 정규화(normalize)하기 위해 인지대비 최대값인 50으로 각각 나누어 주었다.

$$C = \frac{(a + c1 + c2)}{3.0 \times 50}, \begin{cases} a = \frac{1}{N_c \cdot w \cdot h} \sum_{k=0}^{N_c-1} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} a_{ij}^{(k)} \\ c1 = \frac{1}{N_c \cdot w \cdot h} \sum_{k=0}^{N_c-1} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} c1_{ij}^{(k)} \\ c2 = \frac{1}{N_c \cdot w \cdot h} \sum_{k=0}^{N_c-1} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} c2_{ij}^{(k)} \end{cases} \quad (12)$$

Figure 7. Simulation to obtain perceived contrast images

5. 실험 및 분석

Figure 8. Test Images(Lena Images)

Figure 9. Test Images(HDR Images)

첫 실험은 제안하는 인지대비와 Michelson 대비와의 비교 실험이다. 이 실험에 사용된 이미지는 컬러 영상이며, 512 x 512 사이즈를 가진 Lena 및 High Dynamic Range(HDR) 영상이다. 두 컬러 영상을 <그림 8> 및 <그림 9>와 같이 대비가 각각 다른 세 영상으로 만든 후 각각의 세 영상 모두 여섯 개의 공간 주파수 대역으로 나누어서 18 개의 영상을 만든 후 대비를 측정 하였다. 그 결과 <그림 10>과 <그림 11>의 결과에서 볼 수 있듯이 두 테스트 영상에서 모두 제안된 인지 대비로 측정된 결과가 Michelson 대비보다 현실적으로 인간의 인지에 부합하는 결과를 나타낸 것을 알 수 있다. 예를 들어 <그림 8> 및 <그림 9>에서 높은 대비(High contrast)를 갖는 실험 영상의 경우, 각기 다른 공간 주파수 영역의 영상임에도 불구하고 Michelson 대비는 동일한 값을 갖는 확인할 수 있다.

두 번째 실험에서는 Peli(1990) 대비와 본 논문이 제안하는 인지대비와의 정량적 비교를 수행한다. Peli(1990) 대비는 이미 언급한 바와 같이 간략화된 인간의 대비 역치 특성을 포함하고 있지만, 흑백 영상에 대한 대비만을 정의하였다. 그러므로 두 번째 실험 영상으로 <그림 8> 및 <그림 9> 영상을 흑백영상으로 변환 한 후 사용 하였다. <그림 12>는 대비가 다른 Lena 영상의 공간 주파수에 대한 Peli(1990)대비 값의 변화를 보여주고, <그림 13>은 같은 영상의 인지 대비 변화 값을 보여준다. 두 방법 모두 저역 필터링 된 영상의 대비는 점점 작아짐을 확인 할 수 있었지만, 인지대비의 결과가 보다 인간의 인지하는 대비 변화량 정도를 더 잘 표현한다고 볼 수 있다. 이는 왜냐하면 실험 영상의 대비 차이가 동일한 양으로 조절 되어 있었기 때문이다. <그림 14>와 <그림 15>는 위와 같은 실험을 입력 영상을 달리 하여 실행한 것이고, 결과는 역시 인지 대비 값이 영상의 대비 변화량을 더 잘 표현 하는 것으로 나타났다.

Figure 10. Michelson contrast value of Lena image in spatial bands

Figure 11. Michelson contrast value of HDR image in spatial bands

Figure 12. Peli contrast value of Gray Lena in spatial bands

Figure 13. Perceived contrast value of Gray Lena in spatial bands

Figure 14. Peli contrast value of Gray HDR in spatial bands

Figure 15. Perceived contrast value of Gray HDR in spatial bands

5. 결 론

본 논문에서는 사람의 인지 수준을 보다 효과적으로 표현하는 대비(contrast) 측정 방법을 제시하였고 복잡한 영상을 이용하여 제안하는 방법의 효과성을 제시하였다. 특히, 여러 가지 인간의 시각 시스템 특성을 고려하여 복잡한 컬러 영상의 인지 대비를 측정 할 수 있는 객관적인 방법(모델)을 제안하였으며, 이를 바탕으로 이전의 영상의 대비 측정 방법과의 비교 수행을 하였다. 본 논문에서 제안하는 인지대비 측정방법은 기존의 대비 측정 방법에 비해 인간이 실제 인지하는 대비 정도를 보다 잘 표현하는 것으로 실험을 통해 확인하였다. 인간의 시각특성에 보다 효과적으로 부합하는 대비 측정은 한 영상에 대해 실제로 인간이 느끼는 대비를 정량화된 수치로 나타낼 수 있다는 데에 의의가 있다. 아울러 대비는 영상품질을 표현하는 방법 중 하나으로써 객관적인 대비 측정은 향후 복잡한 영상의 품질을 측정하는 다양한 애플리케이션에 활용될 수 있을 것이다.

또한, 제안된 인지 대비측정 방법은 활발히 진행되고 있는 인간의 시각 시스템 특성에 대한 연구에 기반 하여 도출 되었으므로 이전의 다른 대비 측정 방법과 비교하여 여러 가지 장점을 가지고 있다. 다만, 본 연구를 통해 인간의 인지 능력과 유사한 결과를 나타낼 수 있는 대비 측정 방법의 기반을 마련하였으나, 인간의 인지 능력과 정확하게 일치하는 객관적인 대비 측정을 수행하기 위해서는 복잡한 인간의 시각 특성에 대한 보다 많은 연구와 더불어 실험이 요구된다. 따라서, 향후 보다 깊이 있는 시각 특성에 대한 연구를 바탕으로 향상된 대비측정 기법에 대한 연구가 지속적으로 필요한 실정이다.

향후 연구로서는 우선 현재 진행된 연구를 바탕으로 특정개인의 시각특성에 대해 제안된 인지대비 관점에서 측정을 할 수 있을 것이고, 이를 고려한 보통(normal vision) 및 저시력(low vision) 사용자의 시각 시뮬레이션에 관한 연구를 수행 할 수 있다. 또한 이는 궁극적으로 저시력 및 보통시력을 가진 사람에 대한 개인화된 영상의 증강(enhancement)에도 활용 될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Fairchild M. D. 1998. Color Appearance Model. Addison-Wesley.
- Hurvich H. 1981. Color Vision. Simauer Assoc. Sunderland.
- James A. Ferwerda, Sumanta N. Pattanaik, Peter Shirley, and Donald P. Greenberg. 1996. "A Model of Visual Adaptation for Realistic Image Synthesis." Proceedings of SIGGRAPH.
- Kathy. T. Mullen. 1985. "The Contrast Sensitivity of Human Color Vision to Red-Green and Blue-Yellow Chromatic Gratings." J. Physiol.
- Losada M. A. et. al. 1994. The Spatial Tuning of Chromatic Mechanism Identified by Simultaneous Masking. Vision Research, 331-341.
- Peli, E. 1990. "Contrast in Complex Images." Journal of the Optical Society of America.
- Peter J. Burt, and Edward H. Adelson. 1983. "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code." IEEE Transaction on Communication.
- Sumanta N. Pattanaik, James A. Ferwerda, Mark D. Fairchild, and Donald P. Greenberg. 1998. "A Multiscale Model of Adaptation and Spatial Vision for Realistic Image Display." Proceedings of SIGGRAPH.
- Wilson H. R. 1991. "Psychophysical Models of Spatial Vision and Hyperacuity." Spatial Vision 10, CRC Press.