

변이 기반 비대칭 필터링의 양안식 스테레오 비디오에서의 시각피로에 미치는 영향 고찰

*엄기문, **안충현, ***이수인
..*.* 한국전자통신연구원 방송시스템연구부

*gmum@etri.re.kr

A Study on the Effect of Disparity-based Asymmetrical Filtering on Visual Fatigue in the Binocular Stereoscopic Video

Gi Mun Um, Chunghyun Ahn, Soo-In Lee
Broadcasting System Research Department,
Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

기존의 양안식 스테레오 디스플레이 시스템은 장면 내에 매우 큰 변이를 가지는 물체가 존재할 경우에 시각피로를 유발하여 오랜 시간동안 시청하기가 어렵게 된다. 본 논문에서는 변이 기반 비대칭 필터링 기법을 제안하고, 이 기법의 시각 피로도에 미치는 영향을 주관적 평가를 통하여 고찰하며, 아울러 교차변이(crossed disparity) 및 비교차변이(uncrossed disparity)에 따른 시각 피로도에 미치는 영향의 변화 또한 고찰하였다. 실험 결과, 변이 기반 비대칭 필터링은 시각 피로의 측면에서는 비교차변이만 존재하는 영상의 경우에는 원래의 스테레오 영상에 비해 큰 영향이 없거나, 오히려 필터링 수준에 따라 오히려 시각적 피로가 심하게 되는 결과를 나타내었다. 또한 교차변이의 경우에는 시각피로가 필터링 수준을 높임에 따라 조금씩 시각피로가 개선되는 결과를 나타내었다. 따라서, 비대칭 필터링에 의한 시각피로의 개선효과는 스테레오 영상 내 변이 종류와 그 크기, 시청자의 주시점 등 여러 요인에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있었다.

I. 서론

1953년 미국에서 최초의 3차원 텔레비전에 대한 시험 방송을 실시한 이래, 스테레오(stereoscopic) 디스플레이(display)는 기존의 영화나 방송 외에도 비행 시뮬레이션(flight simulation) 등과 같은 컴퓨터 모의실험이나 의료 시스템, 원격작업로봇, 자동차 설계, 화상 회의, 가상 게임 등 여러 응용분야에서 사용되어 왔다. 또한 미래의 디지털 방송과 디스플레이 시장을 형성하는 등 큰 잠재력을 가지고 있다. 스테레오 시스템은 물체들과 배경간의 3차원 구조적인 배열을 느끼게 해주며, 시청자에게 보다 큰 실재감을 제공한다. 최근에 디지털 방송 기술의 발전과 더불어 이러한 스테레오 방식의 텔레비전 방송을 구현하기 위한 카메라나 비디오 저장, 전송 장비나 방법들이 많이 개발되었음에도 불구하고 [1], 시청자에게 피로함이 없는 최적의 고화질 3DTV 서비스는 아직까지 실용화되지 못하고 있다. 이러한 3DTV의 실용화가 지연되고 있는 이유 중의 가장 큰 하나는 휴먼팩터(human factors)에 기인한다. 즉 지금까지 개발된 양안식 3차원 텔레비전은 시청자로 하여금 기존의 2차원 텔레비전에 비해 향상된 깊이감을 느낄 수 있도록 해줌과 동시에 장시간 시청할 경우 눈의 피로함을 일으키는 문제점을 가지고 있다. 또한 대부분 특수 안경을 쓰고 시청해야하는데, 이 또한 시청자가 불편함을 느끼게 하는 요인 중의 하나이다. 후자의 경우에는 다만·

무안경식 3차원 디스플레이의 사용으로 해결할 수 있으나, 대신 영상의 해상도가 저하되는 문제점이 있다. 따라서 원래 영상의 해상도를 저하시키지 않는 장점 때문에 양안 안경식 스테레오 영상 디스플레이 시스템은 아직까지 실용화 수준에 가장 가까운 시스템으로 평가받고 있다. 따라서 기존의 양안식 스테레오 영상 디스플레이 시스템에서 시각 피로의 원인을 분석하고, 이를 최소화하고자 하는 노력은 다시점 무안경식의 3차원 방송 시스템과 병행하여 연구가 계속되어 왔다 [2]. 양안식 스테레오 영상 디스플레이 시스템에서 시각 피로를 일으키게 되는 주요한 원인들 중의 하나는 스테레오 영상 내에 존재하는 매우 큰 변이(disparity) 또는 시차(parallax)이다. 보통 인간의 시각 시스템(HVS: Human Visual System)이 자연 세계의 물체를 관찰할 때, 물체의 깊이를 3차원으로 인식할 수 있는 시차의 범위는 교차변이(crossed disparity)의 경우에는 27 minutes of arc 정도로, 비교차변이(uncrossed disparity)의 경우에는 24 minutes of arc 정도로 제한되어 있다 [3]. 이러한 제한된 시차 인식 범위로 인해 만약 현재 주시되고(fixated) 있는 물체를 중심으로 시차 인식 범위를 벗어나는 깊이를 가지는 물체가 그림 1과 같이 주시 물체의 앞 또는 뒤에 존재할 경우, 이 물체는 하나의 3차원 영상으로 융합(fusion)되지 않고, 이중 이미지(diplopia)로 보이게 될 것이다. 그러나 이러한 문제는 자연 세계의 경우 인간시각시스템의 초점 심도(depth of field)와 주시각 제어의 연동에 의해 해결되고 있다. 즉 자연 세계를 보는 인간

시각시스템은 주시각 제어와 함께 초점 또한 연동되어 제어됨으로써, 초점이 맞춰지는 위치와 주시점이 일치하게 되고, 따라서 시차 인식 범위를 벗어나는 물체가 시야에 존재하더라도 그 부분은 보통 인간시각시스템의 초점심도 범위를 벗어나게 되어, 망막에 맺히기 전에 흐릿하게(blurred)되어 보인다. 따라서, 시차가 큰 물체가 시야에 존재하더라도 불편함이나 피로함을 느끼지 않게 된다. 반면에 상용화되어 판매되고 있는 대부분의 양안식 스테레오 영상 디스플레이 시스템에서 보통 영상은 특별한 효과를 위한 경우를 제외하고, 영상 전체 영역이 모두 초점이 맞춰진 상태의 영상이 디스플레이 되며, 이 경우에는 자연 세계와 달리 망막에 맺히기 전에 흐릿하게 되는 과정 없이 그대로 망막에 맺히게 되어 자연스러운 영상을 볼 수 없게 되고, 이 현상에 의해 시각의 피로를 느끼게 된다고 알려져 있다. 이러한 현상은 장면내 시차가 크면 더 심하게 나타나게 된다. 그림 1은 이러한 양안식 스테레오 영상 디스플레이 시스템의 초점 및 주시각의 관계를 나타낸 것이다.

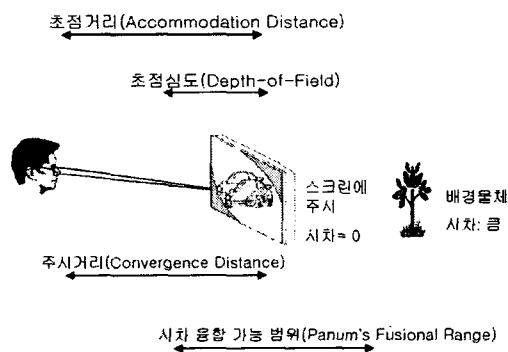


그림 1. 양안식 스테레오 영상 디스플레이 시스템의 초점 및 주시각의 관계.

II. 기존의 시각 피로 감소 기법 연구

이와 같이 큰 시차를 갖는 물체 또는 영역에 의한 시각 피로를 줄이기 위한 방법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이들 중에서 먼저 스테레오 카메라를 이용한 영상 촬영 단계에서 사용할 수 있는 방법으로는 양안 좌우 카메라의 주시각과 간격을 조정하여 영상 내 변이 또는 시차가 너무 크게 되지 않도록 하는 방법이 있는데, 보통 카메라 간격의 경우 사람 눈 사이의 간격인 65mm 정도로 설정하는 것이 최적이라고 알려져 있다 [4]. 한편, 이미 촬영된 영상에 대해서는 위의 방법을 적용할 수 없으므로, 스테레오 영상 디스플레이 화면으로부터 시청자까지의 거리를 증가시킴으로써 상대적인 시차를 감소시키는 방법이 있으나, 전체적인 입체감까지 감소되는 단점이 있다. 세 번째 방법으로는 기존의 모니터 대신 특수 제작된 입체 영상 디스플레이 장치를 사용하여 기존 디스플레이 시스템이 가지는 문제점인 초점과 주시각의 연동 문제를 해결하는 방법이 있다. 이러한 장치들의 예로는 일본 TAO의 3D DAC 시스템이나 독일 HHI의 DOI(Depth-Of-Interest) 시스템 등이 속한다 [5]. 이러한 방법들은 새로운 디스플레이 시스템과 시청자가 주시하고 있는 위치를 검출하기 위한 시청자 시점 추적(tracking) 장치가 필요하다. 또 다른 대안으로서 많이 연구되고 있는 방법은 비디오 처리(video processing)에 의한 방법이다. 이 비디오 처리 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 첫 번째 방법은 좌우 영상 간 변이의 크기를 줄이는 방법으로서 중간 시점 영상의 합성 [6] 또는 영상의 수평이동

(translation)에 의한 방법 [7] 등이 있다. 두 번째 방법은 영상 내 초점 심도를 저역 통과 필터링(lowpass filtering)을 통하여 조정하는 방법으로서 주로 시차가 큰 물체나 영역을 저역통과 필터링 함으로써 인간시각시스템에서 시차 범위를 벗어나는 물체나 영역을 흐릿하게(blurring)하는 것과 동일한 효과를 얻고자 하는 것이다. Wöpking 과 Blohm 등은 카메라 렌즈 모델(lens model)의 구경(aperture)을 변화시켜 가면서 초점 심도를 조정하는 기법을 제안하여 컴퓨터에 의해 생성된 정지 스테레오 영상에 적용한 결과, 시각 피로가 원래의 스테레오 영상에 비해 약간 개선되는 결과를 보였다 [8]. 그러나 이 방법은 시각 피로 측면에서는 개선된 결과를 얻을 수 있었지만, 초점 심도 조정에 의해 디스플레이 되는 전체 영상의 평균 화질 저하가 발생하고, 초점 심도 조정 필터링을 적용할 때, 렌즈 모델의 파라미터를 결정해야 한다는 단점이 있었다.

III. 제안한 변이 기반 비대칭 필터링 기법

본 논문에서는 이러한 평균 화질 저하를 개선하면서 시각 피로 감소 효과를 유지하기 위한 방법으로 좌우 스테레오 영상 중 한쪽 눈에 해당하는 영상에 대해서만 가우시안 필터링(Gaussian Filtering)을 적용하되, 시차가 큰 영역에서는 많이 흐릿하게 되도록 하고, 현재 주시하고 있는 물체는 거의 필터링 되지 않도록 하는 방법을 제안한다. 스테레오 영상의 비대칭 필터링 기법은 J. Tam 등 [9]에 의해 스테레오 영상 전송에 필요한 대역폭을 줄이기 위한 방법으로 제안되었는데, 이 경우에는 전체 영상 영역에 대해 동일한 수준의 가우시안 필터링이 적용되었다. 이 기법의 효과는 한쪽 영상의 필터링에 의한 실제 해상도 저하에도 불구하고, 스테레오 영상 디스플레이 상에서 시청자가 3차원 영상을 볼 때 한쪽 영상의 해상도 저하가 느껴지지 않는 점에 있다 [9]. 본 논문에서는 이러한 비대칭 필터링 기법과 함께, 필터링 수준(blur level)을 결정하기 위한 기준으로서 좌우 스테레오 영상으로부터 구해진 변이 지도를 사용하였다. 즉 주시점과 현재 위치 하소의 변이 차이를 구하여, 이 차이를 필터링 수준의 결정에 사용하였다. 그림 2는 제안한 변이 기반 비대칭 필터링 과정을 나타내고 있다.

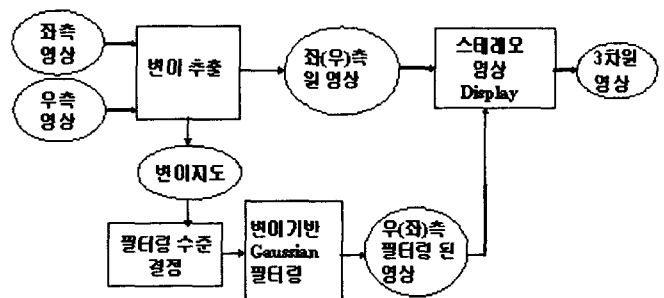


그림 2. 제안한 변이 기반 비대칭 필터링 과정

그림 2에 나타난 바와 같이 먼저 좌측과 우측영상에 변이 추출 알고리즘을 적용하여 변이 지도(disparity map)를 얻는다. 본 논문에서는 블록(block) 기반 변이 추출 방법 [10]을 사용하여 변이 지도를 각 프레임마다 획득하였다. 다음으로, 이 변이 지도를 이용하여 각 화소마다 가우시안 필터링 수준을 다음 식(1),(2),(3)에 의해 결정하게 된다. 먼저 가우시안 필터의 창틀 크기 w 는 다음 식(1)에 의해 가우시안 필터 윈도우 계수 σ 로부터 계산된다.

$$w = 2 \cdot (\text{int}) (2.5 \cdot \sigma) + 1 \quad (1)$$

여기서 상수 2.5는 가우시안 분포 확률에 기초하여 실험적으로 결정된 상수이며, int는 정수 부분만을 취하는 연산

을 의미한다. 한편, w 와 σ 는 필터링된 화소의 변이 d 와 영상내 최소 변이(또는 주시점의 변이) d_{min} 의 차이(절대값) Δ_{disp} 의 함수로서 식(2),(3)와 같은 logistic 함수에 의해 결정된다.

$$\sigma = \frac{\sigma_{max}}{1 + (d_{mid}/\Delta_{disp})^{slope}}, \Delta_{disp} \neq 0 \quad (2)$$

$$w = \frac{w}{1 + (d_{mid}/\Delta_{disp})^{slope}}, \Delta_{disp} \neq 0 \quad (3)$$

여기서, d_{mid} 와 $slope$ 는 경험적으로 결정되는 파라미터들이며, d_{mid} 는 0과 Δ_{disp} 의 최대값 $\Delta_{disp, max}$ ($= |d_{max} - d_{min}|$) 사이의 범위를 가지는 파라미터로서 d_{mid} 가 $\Delta_{disp, max}$ 에 가까울수록 변이 차이가 큰 값을 가지는 화소들만 심하게 필터링 된다. 또한 $slope$ 는 필터링 정도의 변화 기울기(gradient)를 결정하는 양의 상수이다. 한편 σ_{max} 는 최대로 필터링 할 수준을 결정하는 상수로서 동일한 Δ_{disp} 에 대하여 σ_{max} 가 클수록 해당화소는 심하게 필터링 된다. 만약 Δ_{disp} 가 0인 경우에는 해당화소를 필터링하지 않는다.

이러한 과정을 거쳐 계산된 필터링 수준에 기반하여 좌측 또는 우측 영상 중 한쪽 영상에 대해서만 변이기반 가우시안 필터링을 수행하며, 필터링 된 영상은 스테레오 영상 디스플레이 장치로 전달된다. 한편, 다른 쪽 영상은 필터링 되지 않은 채로 스테레오 영상 디스플레이 장치로 전달되며, 필터링 된 영상과 함께 디스플레이 되어 시청자에게 3차원 스테레오 영상을 제공하게 된다.

III. 실험 결과 및 토의

제안한 변이기반 비대칭 필터링 기법이 스테레오 영상의 시각 피로에 미치는 영향을 조사하기 위하여 본 논문에서는 주관적 평가 실험(Subjective Rating Test)을 실시하였다. 이에 사용된 실험 영상 및 디스플레이 방법은 표 1에 주어진 바와 같으며, 주관 평가에 참가한 시청자에 대한 정보, 평가 항목 및 평가 방법은 표 2에 나타난 바와 같다. 표 1의 디스플레이 방법들 중 스테레오는 좌우 영상이 각각 해당 눈에 보여 지는 것을 의미하며, 모노는 좌우 중 한쪽 영상만 양쪽 눈에 모두 보여 지는 것을 의미한다. 또한 AB(asymmetrical blur)는 한쪽 눈 영상만 필터링 되는 것을 의미하며, SB(symmetrical blur)는 양쪽 눈 영상이 모두 필터링 되는 것을 의미한다. 이중 기준 영상으로서는 원래의 스테레오 영상이 사용되었다. 각 디스플레이 방법에 의한 영상들은 기준 영상에 대하여 상대적으로 평가되었다. 또한 실험 1에서는 변이기반 비대칭 필터링의 시각 피로에 미치는 일반적 영향을 조사하였고, 실험 2에서는 변이 종류에 따른 시각 피로에 미치는 영향의 차이여부에 중점을 두었다.

한편, 주관 평가방법으로 사용된 DSQS(double-stimulus continuous-quality scale) 방법 [11]은 서로 다른 두 개의 콘텐츠를 2번 반복하여 보여준 후 두 영상에 대한 상대 평가 점수를 기록하는 방법으로서 주관적 영상 평가에 많이 이용되고 있다. 시청자들은 서로 비교할 두 개의 콘텐츠 각각에 대해 시각적 편안함(visutal comfort) 등과 같은 영상 평가 항목의 수준을 5 단계 정도로 분할한 평가자에 자신이 생각하는 두 영상의 평가항목에 대한 수준의 위치에 표시하게 된다. 본 논문의 실험에서는 시각적 편안함에 대한 평가를 실시하였다. 그림 3은 변이기반 필터링 된 영상의 예를 보여주고 있는데, 그림 3(c)의 확대된 영상을 보면, 변이의 변화에 따른 필터링 수준의 변화

를 볼 수 있다.

표 1. 실험 영상 및 디스플레이 방법

파라미터	실험 1	실험 2
실험조건 개수	27	12
시퀀스 길이	8 초	
영상 이름	Digimon, Hoho, Hyundai	Redleaf, Meal
Gaussian 필터 수준 σ_{max}	1.5, 1.9, 2.3	1.5, 2.3
디스플레이 방법	스테레오 AB, 모노 AB, 모노 SB, 원 스테레오(기준)	
변이 종류 및 범위	교차 변이 +30 ~ +50	교차 및 비교차 변이 -22 ~ +18
획득 방법	카메라 영, 평행축, 61mm	NHK 제공, 교차축, 65mm
디스플레이 장치	방식	필드 순차 (Field Sequential)
	장치명	Crystal Eyes TM
	유효영역	48" x 36" / 21"
	시청거리	4H(192")

표 2. 시청자 및 평가 항목, 평가 방법

실험 파라미터	실험 1	실험 2
시청자	비전문가 25명 (남18명, 여7명, 평균나이 21세)	전문가 5명 (평균 나이 38세)
평가 항목	시각적 편안함	
평가 방법	DSCQS 방법	

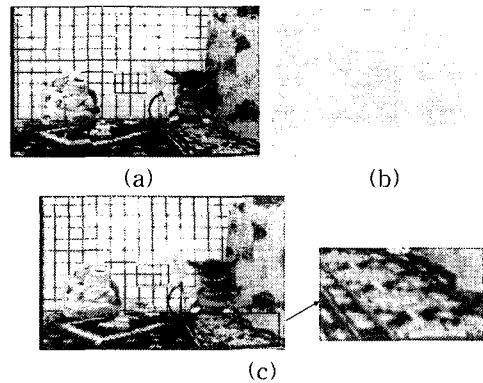


그림 3. 변이기반 필터링의 예.

(a)원영상(b)변이지도(c)필터링 된 영상 (d)확대영상

그림 4는 실험 1, 2에서의 시각적 편안함 평가 결과를 나타낸다.

먼저 그림 4의 시각적 편안함에 대한 평가 결과를 보면, 그림 4(a)의 모노 영상의 경우에는 필터링 수준의 증가에 따라 시각적 편안함이 감소하는 것을 볼 수 있다. 한편, 스테레오 영상의 경우에는 필터링 수준에 따라 정도의 차이는 있으나, 제안한 알고리즘을 적용한 영상에 대한 평가 결과가 원 스테레오 영상에 대한 평가 결과에 비해 거의 비슷하거나 낮게 나옴을 볼 수 있다. 이의 원인은 먼저 영상 내에 여러 물체가 존재함으로 인해 시청자들이 주시점을 선택하는 데 있어 서로 다른 물체에 주시했을 가능성이 있다. 따라서 어느 시청자의 경우 자신이 주시하고 있는 물체와 가까운 영역이 필터링 됨으로써 3차원으로 인식하는데 있어 필터링에 의해 융합이 방해받았을 가능성이 있다. 또 다른 원인으로는 원래의 스테레오 영상에 대

한 시각적 편안함이 매우 높아서 제안한 방법에 의해 개선될 수 있는 정도가 상대적으로 작아서 잘 구별이 되지 않았을 수도 있다. 이는 필터링 수준이 1.9일 때 거의 점수 차이가 없음에서도 추측할 수 있다. 한편, 그림 4(b)의 변이 종류에 대한 실험 2의 결과를 보면, 교차 변이에 대해서만 필터링을 수행한 경우에는 필터링 수준이 증가함에 따라 약간 시각적 편안함이 증가됨을 볼 수 있었으나, 비교차 변이에 대해서만 필터링을 수행한 경우에는 거의 변화가 없거나 약간 감소함을 볼 수 있었다. 그러나, 이 경우에도 원 스테레오 영상보다는 편안함이 개선되지는 못했다. 이상의 결과를 종합해볼 때, 변이기반 비대칭 필터링에 의한 시각피로의 개선효과는 스테레오 영상 내 변이 종류와 그 크기, 시청자의 주시점 등 여러 요인에 따라 달라질 수 있으며, 시각 피로 개선효과를 얻기 위해서는 최적의 필터링 조건에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

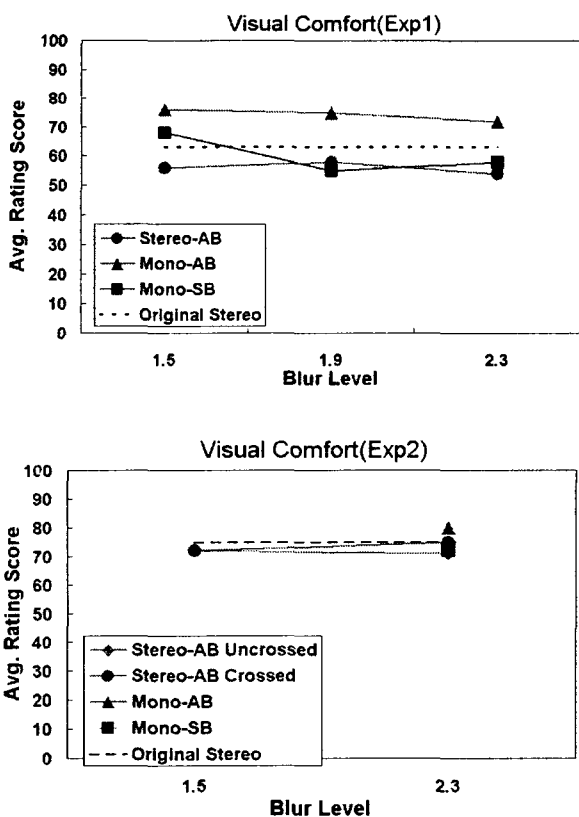


그림 4. 시각적 편안함(visual comfort)에 대한 주관적 평가 결과.
(a)실험 1 (b)실험 2.

IV. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 변이 기반 비대칭 필터링이 3차원 인식 영상의 화질을 유지하는 장점 외에 시각 피로의 개선 효과에의 적용 가능성을 고찰하였다. 변이 기반 비대칭 필터링은 좌우 영상의 변이 지도에 기반 하여 주시점과의 변이차이에 따라 필터링 수준을 결정하고, 이를 좌우 영상 중 어느 한쪽에만 적용하는 방법이다. 실험 결과, 제안한 방법에 의한 시각 피로의 개선효과는 현재 실험 조건에서 예상과는 달리 나타나지 않았다. 다만, 필터링 수준의 증

가에 따라 교차 변이의 경우에 시각 피로가 개선되는 현상을 보였다. 따라서, 추후과제로서 시각 피로의 개선효과를 얻기 위하여 시청자의 현재 주시점을 정확하게 검출하기 위한 방법 및 최적의 필터링 조건에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정통부 지원 지능형 통합 정보방송(SmarTV) 기술 과제의 대한민국 한국전자통신연구원(ETRI)과 캐나다 연방 CRC(Communications Research Centre)의 공동연구 과제로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] W.A. IJsselsteijn, P. J. H. Seuntiëns, and L. M. J. Meesters, "State-of-the-art in Human Factors and Quality Issues of Stereoscopic Broadcast Television," *Deliverable ATTEST/WP5/01*, pp. 3-4, August 2002.
- [2] 한국전자통신연구원, 3차원 입체영상(3DTV) 방송중계 시범서비스 과제 최종 보고서, 2002년 12월.
- [3] Y. Y. Yeh and L. D. Silverstein, "Limits of Fusion and Depth Judgement in Stereoscopic Color Displays," *Human Factors*, vol. 31 no. 1, pp. 45-66, 1990.
- [4] L. Stelmach, F. Speranza, Gi Mun Um, J. Tam, and T. Martin, *A Study on the Visual Fatigue Reduction Techniques in the Binocular Stereo System*, Collaborative Research Final Report, 2002.
- [5] S. Pastoor and M. Wöpking, "3-D Displays: A review of current technologies," *Displays*, 17, pp. 100-110, 1997.
- [6] Jong-Il Park, Sang Hyo Han, Gi Mun Um, Chung Hyun Ahn, "Virtual Control of Optical Axis for Stereo HDTV," *Proceedings of VCIP 2003*, pp. 119-126, July 2003.
- [7] J. S. McVeigh, M. W. Siegel, and A.G. Jordan, "Algorithm for automated eye strain reduction in real stereoscopic images and sequences," *Proc. of SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, vol. 2657, pp. 307-316, Jan. 1996.
- [8] W. Blohm, I. P. Beldie, K. Schenke, K. Fazel, and S. Pastoor, "Stereo Image Representation with Synthetic Depth of Field," *Journal of SID*, pp. 307-313, 1997.
- [9] L. Stelmach, W. J. Tam, D. Meegan, and A. Vincent, "Stereo Image Quality: Effects of Mixed Spatio-temporal Resolution," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, pp. 188-193, 2000.
- [10] L. Zhang, "Hierarchical Block-based Disparity estimation using Mean Absolute Difference and Dynamic programming," *International Workshop on Very Low Bit rate Video Coding*, pp. 114-118, 2001.
- [11] *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*, Rec. ITU-R BT. 500, 1994-1997.