

VHLS 광학판 기반의 다시점 스테레오스코픽 3D 디스플레이 시스템의 구현

정희원 이상우*, 이맹호*, 김은수*

Implementation of Multiview Stereoscopic 3D Display System using Volume Holographic Lenticular Sheet

Sang-Woo Lee*, Maeng-Ho Lee*, Eun-Soo Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 VHLS 광학판 기반의 새로운 다시점 3D 디스플레이 시스템을 제시하였다. 즉, VHLS 광학판을 체적 홀로그램의 각 다중화 기록 특성을 이용하여 다시점 영상의 방향벡터를 회절격자 형태로 기록한 일종의 광 방향 변조기로 제작한 다음, 제작된 VHLS를 LCD 공간광변조기에 부착되어 패널에 입력되는 다시점의 스테레오 영상을 각 시점에 해당하는 특정방향으로 분리해 줌으로써 다시점 3D 디스플레이 시스템을 실현하였다. 또한, 본 논문에서는 VHLS 광학판의 원리와 특성을 분석한 다음 상용 포토폴리머를 이용하여 최적화된 4시점의 VHLS 광학판을 설계 제작하고 이를 이용하여 4시점의 스테레오스코픽 3D 디스플레이 시스템을 구현하였다. 그리고 적응적 변위 추정 알고리즘으로 합성된 4시점의 테스트 영상을 이용한 광학실험을 통해 VHLS 기반의 다시점 3D 디스플레이 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

Key Words : VHLS; stereo display; holographic; lenticular.

ABSTRACT

In this paper, a new multiview stereoscopic 3D display system using a VHLS(volume holographic lenticular sheet) is suggested. The VHLS, which acts just like an optical direction modulator, can be implemented by recording the diffraction gratings corresponding each directional vector of the multiview stereoscopic images in the holographic recording material by using the angularly multiplexed recording property of the conventional volume hologram. Then, this fabricated VHLS is attached to the panel of a LCD spatial light modulator and used to diffract each of the multiview image loaded in a SLM to the corresponding spatial direction for making a 3D stereo view-zone. Accordingly, in this paper, the operational principle and characteristics of the VHLS are analyzed and an optimized 4-view VHLS is fabricated by using a commercial photopolymer. Then, a new VHLS-based 4-view stereoscopic 3D display system is implemented. Through some experimental results using a 4-view image synthesized with adaptive disparity estimation algorithm, it is suggested that implementation of a new VHLS-based multiview stereoscopic 3D display system can be possible.

I. 서론

일반적으로, 사람이 물체를 입체적으로 볼 수 있

는 것은 양안시차에 의한 것으로, 두 눈은 각기 다른 시점의 물체영상을 관측하고 인간의 뇌가 이 두 스테레오 영상의 차이를 합성함으로써 3차원 입체

* 광운대학교 전자공학과 국가지정 3차원 영상 미디어 연구실(eskim@daisy.kw.ac.kr)

논문번호 : 040045-0202 접수일자 : 2004년 2월 2일

* 본 연구는 정보통신부 ITRC 사업 및 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 사업의 지원아래 수행되었습니다.

물체를 인식하게 된다^{1,2}. 이러한 인간 시각 시스템을 모방하여 구현한 것이 바로 2개의 카메라를 사용하는 스테레오스코픽 3D 디스플레이 시스템이다. 그러나, 이러한 스테레오 방식은 시점이 제한되고 결과적으로 눈의 피로를 가중시키기 때문에 실질적인 응용이 제한되고 있다³. 따라서, 이러한 기존의 스테레오 방식의 단점을 해결하기 위한 접근방법으로 여러 형태의 다시점 스테레오스코픽 디스플레이 시스템에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다⁴.

이러한 다시점 3D 디스플레이 시스템은 시점을 증가시켜 시역을 확대함으로써 보다 자연스러운 3D 디스플레이가 가능하다. 그러나 시점의 개수가 증가함에 따라 영상데이터 량도 동시에 증가하기 때문에 실시간 영상처리 프로세서 및 초고속, 광대역의 전송채널 등에 대한 개발 또한 요구된다⁵.

최근에는, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 접근방법으로 중간시점 영상합성(IVR: intermediate views reconstruction)기법도 연구되고 있다⁶. 중간시점 영상합성 기법은 제한된 개수의 카메라로 획득된 스테레오 영상으로부터 디스플레이단에서 필요한 만큼의 다시점 영상을 디지털적으로 합성해 내는 방법으로 기존 스테레오스코픽 3D 시스템의 문제점인 시점 증가에 따른 카메라 개수 및 전송대역폭의 증가 문제를 해결함과 동시에 시역이 확대된 자연스러운 3D 입체 디스플레이의 구현 가능성을 제시하고 있다⁷.

또한, 이렇게 다시점의 스테레오 영상을 무안경식의 3D 입체로 디스플레이하기 위해서는 여러 시점의 영상을 공간적으로 시점영역을 구분할 수 있는 기능을 갖는 특수한 광학판이 사용된다. 현재, 가장 많이 사용되고 있는 광학판에는 렌티큘라 시트(lenticular sheet)와 패럴랙스 배리어(parallax barrier)등이 있다. 이중, 렌티큘라 시트 방식은 반원통형 모양을 한 렌티큘러 스크린이라고 불리는 렌즈의 초점면에서 여러 시점의 영상을 줄무늬 형태로 배치하고 이 렌즈를 통해 보면 렌즈판의 방향성에 따라 여러 시점의 영상이 분리되어 좌우 눈에 입사됨으로써 입체 영상을 볼 수 있다. 그러나, 이 방식은 렌티큘러 시트의 시차 문제와 더불어 디스플레이 패널과의 정확한 매칭이 요구된다⁴.

그리고, 패럴랙스 배리어 방식은 빛을 투과 또는 차단시키기 위한 가느다란 줄무늬 모양의 수직 슬릿을 일정한 간격으로 배열시킨 다음 그 뒤에 적당한 간격을 두고 다시점의 영상을 교대로 배치하는

기술로서 특정 시점에서 이 슬릿을 통해 보면 기하광학적으로 다시점의 스테레오 영상이 정확하게 구분되어 입체감을 느끼게 된다. 이 방식은 배리어가 눈에 거슬리거나 상당량의 빛이 배리어에 의해 차단되기 때문에 밝은 화면을 얻을 수가 없다는 단점이 있다⁴.

따라서, 본 논문에서는 기존 광학판의 문제점을 해결하기 위한 새로운 접근방법으로 체적 홀로그래픽 렌티큘러 시트(VHLS: volume holographic lenticular sheet) 광학판을 이용한 새로운 다시점 3D 디스플레이 시스템을 제시하고자 한다. 즉, 새로이 제시된 VHLS는 일종의 광 방향 변조기(optical direction modulator)로써 체적 홀로그램의 다중화 기록 특성을 이용하여 각각의 다시점 영상의 방향 벡터를 회절격자 형태로 기록하여 제작된다. 이렇게 제작된 VHLS는 LCD 공간광변조기에 부착되어 패널에 입력되는 다시점의 영상을 각 시점에 해당하는 특정방향으로 공간적으로 분리해 줌으로써 다시점 3D 디스플레이가 가능하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 새로이 제안된 VHLS 광학판의 원리와 특성을 분석한 다음 상용 포토폴리머를 이용하여 최적화된 4시점의 VHLS 광학판을 설계 제작하고 이를 이용하여 4시점 3D 디스플레이 시스템을 구현하고자 한다. 그리고 적응적 변위추정 알고리즘으로 합성된⁸ 4시점의 테스트 영상을 이용한 3D 디스플레이 실험을 통해 제안된 VHLS 기반의 다시점 스테레오스코픽 3D 디스플레이 시스템의 구현 가능성을 제시하고자 한다.

II. 제안된 다시점 VHLS 광학판의 특성 분석

1. 체적 홀로그램의 각 다중화 기록 특성

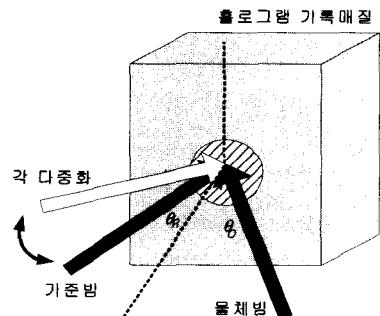


그림 1. 홀로그래픽 각 다중화 기록 개념도

본 논문에서는 VHLS 제작을 위해 홀로그래피 메모리 시스템 중 가장 구현하기 용이하고 잘 알려진 다중화 방법인 각 다중화(angular multiplexing) 방법을 사용하였다. 즉, 그림 1과 같이 체적 홀로그램 특성을 갖는 광 기록매질에 어드레스빔의 입사 각도를 변화시키면서 다중의 데이터를 기록하는 방법이다.

여기서, 공간광변조기로부터 입력된 물체빔과 특정한 각도로 입사되는 기준빔들 간의 간섭으로 저장된 체적 홀로그램의 회절격자는 식(1) 과 같은 브라그(Bragg) 조건을 만족할 때에만 빔을 회절시키는 높은 각 선택도(angular selectivity)를 갖는다.

$$\sin \phi = \lambda / 2\Lambda \quad (1)$$

즉, 사용된 기준빔과 동일한 각도로 입사되는 평면파에 대해서만 격자의 회절이 생성된다. 식(1)에서 ϕ 는 격자와 입사 기준빔 간의 각도를, Λ 는 간섭패턴의 주기를 각각 나타낸다. 따라서 홀로그램이 기록시의 각도와 다른 각의 기준빔으로 조사되면, Bragg 조건을 만족하지 않아 회절빔이 발생되지 않는다.

2. 체적 홀로그램 기반의 다시점 VHLS 광학판 특성 분석

VHLS 광학판은 앞 절에서 설명한 체적 홀로그램의 각 다중화 기록 특성을 이용하여 다시점 영상의 여러 방향벡터를 회절격자 형태로 포토폴리머에 기록한 일종의 광 방향 변조기의 역할을 하는 광학소자로 제작된다. 즉, 특정 방향벡터를 광기록 매질인 포토폴리머에 회절격자로 기록함으로써 특정 위치에서 입력되는 영상은 특정방향으로 회절시킴으로써 다시점 영상의 공간적 분리를 가능하게 한다. 이러한 원리를 이용하여 다시점의 영상을 다중화하여 하나의 패턴 영상을 만든 다음 이를 VHLS 광학판

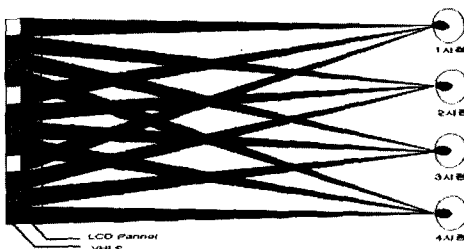


그림 2. 다시점 VHLS 광학판의 동작원리

을 통과하게 되면 각 시점에 해당하는 스트립 패턴 영상끼리만 특정방향으로 모이면서 분리되어 다시점의 스테레오스코픽 3D 디스플레이가 가능하게 된다. 그림 2는 본 논문에서 새로이 제시한 다시점 VHLS 광학판의 동작원리를 나타낸 것이다.

그림 3은 다시점 3D 디스플레이를 위한 VHLS 회절격자 구성도 및 다시점 영상 패턴의 구성도를 각각 나타낸 것이다. 그림 3과 같이 n안식에 해당되는 각각의 스트립 패턴(strip pattern)이 공간광변조기의 패널에 시분할적으로 업데이트되면 이 스트립 정보를 실은 평면 물체파는 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 으로 각 다중화되어 공간광변조기 패널에 입사되는 평면 기준파와 간섭되어 공간광변조기의 패널에 붙어있는 포토폴리머에 기록된다.

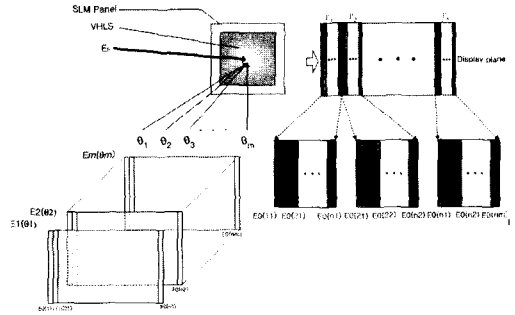


그림 3. 다시점 VHLS 광학판 및 다시점 영상 패턴의 구성도

이 경우 포토폴리머에서의 광세기 분포는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 I &= |E_{R(11)} + E_{O(11)}|^2 + |E_{R(21)} + E_{O(21)}|^2 + \dots + |E_{R(n1)} + E_{O(n1)}|^2 \\
 &+ |E_{R(12)} + E_{O(12)}|^2 + |E_{R(22)} + E_{O(22)}|^2 + \dots + |E_{R(n2)} + E_{O(n2)}|^2 + \dots \\
 &+ |E_{R(1m)} + E_{O(1m)}|^2 + |E_{R(2m)} + E_{O(2m)}|^2 + \dots + |E_{R(nm)} + E_{O(nm)}|^2 \\
 &= E_{R(11)}E_{R(11)}^* + E_{R(21)}E_{R(21)}^* + \dots + E_{R(nm)}E_{R(nm)}^* \\
 &+ E_{O(11)}E_{O(11)}^* + E_{O(21)}E_{O(21)}^* + \dots + E_{O(nm)}E_{O(nm)}^* \\
 &+ E_{R(11)}E_{O(11)}^* + \dots + E_{R(nm)}E_{O(nm)}^* \\
 &+ E_{O(11)}E_{R(11)} + \dots + E_{O(nm)}E_{R(nm)}
 \end{aligned} \quad (2)$$

또한, 재생시에 브라그 조건을 만족하는 물체파가 조사될 경우 디스플레이 평면에서의 회절빔의 분포는 식 (3)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 I &= A_{O(11)} \exp(-jk_{O(11)} \cdot r) + \dots + A_{O(nm)} \exp(-jk_{O(nm)} \cdot r) \\
 &+ A_{O(11)} \exp(-jk_{R(11)} \cdot r) + \dots + A_{O(nm)} \exp(-jk_{R(nm)} \cdot r) \\
 &+ A_{O(11)} \exp[j(k_{R(11)} - 2k_{O(11)}) \cdot r] \\
 &+ \dots + A_{O(nm)} \exp[j(k_{R(nm)} - 2k_{O(nm)}) \cdot r]
 \end{aligned} \quad (3)$$

입사되는 물체파에 의해 공간광변조기 패널상의 합성된 다시점 영상은 식 (2)의 두 번째 항과 같이 공간적으로 분리되어 디스플레이 평면으로 회절되기 때문에 렌티큘라 슈트와 같은 광학판의 역할을 하게 된다. 그림 4는 4시점의 입력영상을 하나의 스트립 패턴영상으로 합성하는 과정을 예로써 나타낸 것이다. 그림에서 ①, ②, ③, ④는 각 시점영상의 스트립 패턴을 나타내며 각 시점에서 한개 씩의 피치(pitch)가 모여 하나의 스트립 창(strip window)을 만들어 줌으로써 공간 다중화된 4시점의 스테레오 영상이 합성되게 된다. 즉, ①번 시점 영상의 첫 번째 피치, ②번 시점 영상의 두 번째 피치, ③번 시점 영상의 세 번째 피치, ④번 시점 영상의 네 번째 피치가 합성되어 첫 번째 스트립 창이 만들어지고 같은 방법으로 스트립 윈도우를 계속 만들어가게 되면 최종적으로 4시점의 합성영상이 만들어 지게 된다. 이렇게 만들어진 합성영상은 VHLS 광학판에 의해 각 스트립 창으로부터 같은 시점의 스트립 패턴들은 특정방향으로 회절시켜 모이게 함으로써 다시점 영상의 공간적 분리가 가능하게 된다.

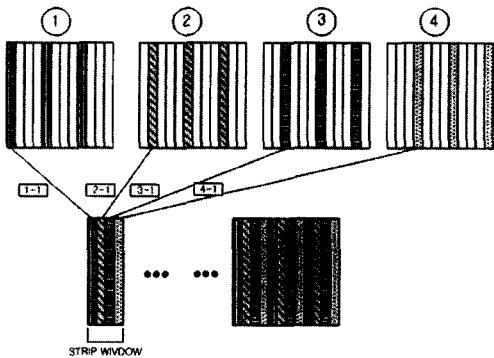


그림 4. 4시점 영상으로부터 스트립 패턴영상의 합성과정

Ⅲ. 중간시점 영상합성 기법에 기반한 다시점 영상 생성

1. 적응적 변위추정을 이용한 중간시점 영상합성

본 논문에서는 VHLS 광학판의 성능실험에 사용될 4시점의 스테레오 영상은 적응적 변위추정 기법(adaptive disparity estimation)에 기반한 새로운 중간시점 영상합성(IVR: intermediate views reconstruction)방법으로 영상을 합성하여 사용하였다^[8]. 즉, 좌, 우 스테레오 입력영상으로부터 특징값을 추출하고^[8-10] 설정된 임계값과 비교하여 특징값의 크기

를 결정한 다음, 그 특징값의 크기에 따라 적응적으로 정합창의 크기를 선택함으로써 정합이 이루어지게 된다. 또한, 보다 자연스러운 정합을 위하여 가중 평균값에 의한 내삽(interpolation with weighted mean value) 방법으로 중간시점영상을 합성하여 보다 자연스러운 입체감을 갖는 다시점 영상을 구현하였다^[7].

스테레오 입력영상으로부터 중간영상을 합성할 때 시점의 위치는 a 로 나타내며 이때, $a=0$ 인 영상을 좌 영상, $a=1$ 인 영상을 우 영상을 각각 나타내고 중간시점에 해당하는 영상은 가중평균값으로 내삽하여 구하게 된다^[5,6]. 식 (4)는 시점의 위치 a 에 따라 가중 평균값으로 내삽하는 과정을 나타낸 식이다. 여기서, d_{ij} 는 탐색범위(search range) 내의 변이값을, I_p 는 좌, 우 영상의 변이가 교차되는 지점에 합성된 중간시점의 위치를 각각 나타낸 것이다.

$$I_a(i, j) = (1-a)I_l(i - \widehat{d}_{ij}(i, j)) + aI_r(i - \widehat{d}_{ij}(i, j)) \quad (4)$$

2. 4 시점의 테스트용 스테레오 영상 생성

본 논문에서는 256×256 픽셀 크기를 갖는 좌, 우 스테레오 ‘MAN’ 영상^[13]으로부터 적응적 변위 추정 기법^[8]을 이용하여 4시점의 중간시점 영상을 합성하였다. 일반적으로 변위추정에는 화소기반(pixel-based), 블록기반(block-based) 및 특징 기반(feature-based) 방식 등이 사용되고 있으나 이 중에서, 화소기반의 정합방식은 세밀한 정합(dense matching)은 가능하지만 정합과정에서 오정합(mismatching)이 나타날 확률이 높고 수행시간이 길다는 등의 단점이 있고, 블록기반 정합방식의 경우는 수행시간은 짧으나 세밀한 정합이 어렵고 블록화 현상(blocking effect)등의 문제점이 있다^[12]. 한편, 최근 제안된 적응적 변위추정 방식은 배경과 같이 특징값이 작은 영역에서는 비교적 큰 정합창에 의한 블록정합이 이루어지고 물체의 윤곽선과 같이 특징값이 큰 영역에서는 상대적으로 작은 정합창에 의한 미세한 정합이 선택적으로 수행되기 때문에 전체적인 정합성능의 개선뿐만 아니라 기존의 기법에서 나타나는 오정합이나 블록화현상 등의 문제점 해결이 가능하기 때문에 그 성능이 우수한 것으로 분석되고 있다^[8].

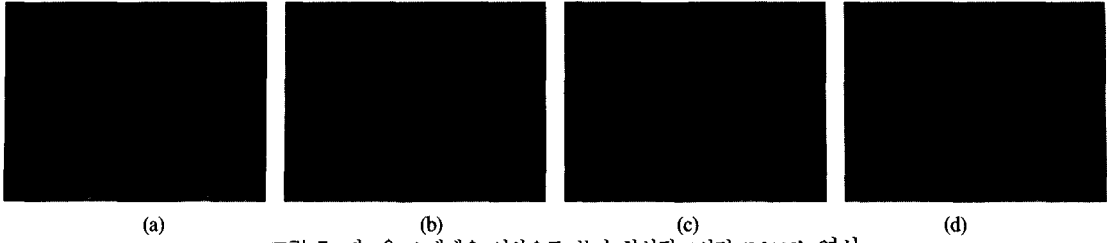


그림 5. 좌, 우 스테레오 영상으로 부터 합성된 4시점 'MAN' 영상

그림 5는 제안된 방식을 사용하여 최종적으로 합성한 4시점의 'MAN' 영상이다. 즉, 그림 5(a) 와 (d)는 원래의 스테레오 영상^[11]이고 그림 5(b) 와 (c)는 적응적 변이추정 기법에 기반해 합성된 영상이다. 합성된 4시점의 'MAN' 영상은 1024×768 픽셀크기로 변환하여 VHLS의 입력영상으로 사용하였다.

다. 두 번째 스트립 패턴은 2번, 6번, 10번 등의 피치는 열리고 나머지는 모두 닫힌 형태가 된다. 같은 방법으로 나머지 2개의 스트립 패턴도 제작하였다. 그림 6은 4시점 스테레오 영상의 스트립 패턴을 제작하는 과정을 나타낸 것이며 그림 7은 본 실험에서 구성한 4시점 스테레오 영상에 대한 스트립 패턴을 각각 나타낸 것이다.

IV. 4시점 VHLS 광학판의 설계 제작

1. 스트립 패턴 구성 및 4시점의 영상 합성

본 논문에서는 VHLS 광학판에 적용하기 위한 스트립 패턴 및 영상합성은 GUI 환경에서 프로그램을 사용하여 설계 제작되었다. 즉, M안식의 영상을 표현하기 위해서는 M개의 스트립 패턴이 필요하다. M안식의 하나의 시점에 해당하는 것이 피치이며 이러한 피치가 M개 모여서 하나의 윈도우 피치를 구성하게 된다. 재생시에 M안식의 첫 번째 영상을 디스플레이하기 위한 스트립 패턴은 각 윈도우 피치의 첫 번째 피치를 열고 나머지 피치는 닫힌 형태가 된다. 즉, 1번, M+1번, 2M+1번등의 피치가 열리고 나머지는 닫힌 형태가 된다. 마찬가지로 M안식의 N번째 영상을 디스플레이하기 위한 스트립 패턴은 각 윈도우 피치의 N번째 피치를 열고 나머지는 닫힌 형태가 된다.

본 실험에서는 4안식의 실험을 수행하기 위하여 스트립 패턴은 1024×768의 해상도를 가지며 이를 구성하는 각각의 피치 크기는 공간광변조기의 4픽셀과 같은 크기로 조절하였다. 4개의 피치가 모여서 하나의 스트립 윈도우를 이루게 되고, 1024×768의 해상도 안에 64개의 윈도우 피치를 갖는 형태로 스트립 패턴을 제작하였다. 첫 번째 스트립 패턴은 각 스트립 윈도우의 첫 번째 피치가 열리고 다른 피치는 닫힌 형태로 만들어지게 된다. 즉, 1번, 5번, 9번 등의 피치는 열리고 나머지는 모두 닫힌 형태가 된

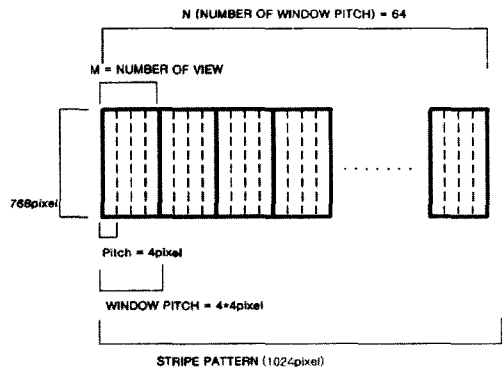
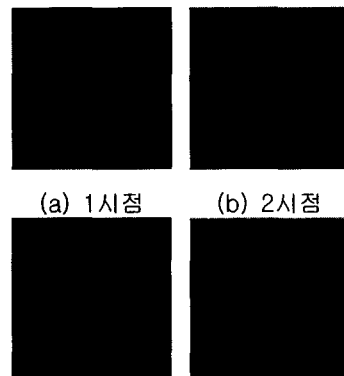


그림 6. 윈도우 피치의 개념도



(a) 1시점 (b) 2시점 (c) 3시점 (d) 4시점

그림 7. 4시점 스트립 패턴의 구성



그림 8. 4시점의 합성영상

그리고, 4시점의 스테레오 영상은 VHLS 광학판의 제작과정에서 사용되는 스트립 패턴의 피치 크기 및 해상도가 동일하도록 합성하였다. 즉, 중간시점 합성기법으로 합성된 4개의 스테레오 영상을 대응되는 스트립 패턴과 결합시킨 후 이들로부터 합성된 4시점 영상을 제작하였다. 그림 8은 4시점의 영상을 사용하여 합성된 최종영상을 나타낸 것이다.

3. 4시점 VHLS 광학판의 제작

그림 9는 4시점의 VHLS 광학판을 제작하고 동시에 이를 이용한 3D 디스플레이를 구현하기 위한 실험 구성도를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 홀로그래픽 기록 매질인 포토폴리머를 공간광변조기에 미리 부착하여 VHLS 광학판을 제작하고 공간광변조기의 패널에 4시점의 합성영상을 입력시켜 VHLS를 통해 4시점의 스테레오 영상을 재생할 수 있도록 설계하였다.

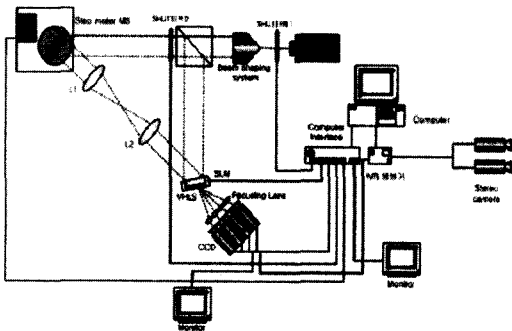


그림 9. VHLS기반의 4시점 3D 디스플레이 시스템의 실험 구성도

실험 시스템은 크게 기준파 제어부, 물체파 제어부 그리고, 4시점의 스테레오 입체영상 디스플레이부로 구성되어 있다. 또한, 컴퓨터 인터페이스를 이용함으로써 모든 신호처리를 자동화하여 하나의 통합시스템을 구성하였다. 물체파 제어부는 공간광변조기와 스트립 패턴의 동기화를 위한 컴퓨터 인터페이스로 구성되어 있다. 기준파 제어부는 0.01°의 각 분해능을 갖는 스텝 모터와 각 다중화를 위한 2개의 렌즈 그리고 셔터로 구성되며, 기준파를 공간광변조기에 디스플레이되는 스트립 패턴의 순서와

맞추어 각 다중화시켜 입사시키게 된다. 이상의 두 제어부를 통해 광 기록 매질인 포토폴리머 (HRF-150-100)에 회절격자가 기록되어 VHLS 광학판이 제작된다. 즉, 기준파가 각 다중화되는 시점과 동기화하여 공간광변조기에 각 시점에 해당하는 스트립 패턴을 디스플레이하게 되면 각각의 스트립 패턴의 정보를 담은 물체파는 각 다중화된 각각의 기준파와 간섭되어 공간광변조기 패널에 부착된 포토폴리머에 스트립 패턴이 기록되게 된다.

기록시에 물체파와 기준파의 입사각도는 30°~35°로 조정하였고, 다중화 각도는 포토폴리머 (HRF-150-100, Dupont)의 각 선택도를 고려하여 1.8°로 설정하여 실험하였으며, 4개의 스트립 패턴을 포토폴리머에 균일하게 기록하기 위하여 사전노출(pre-exposure)과정 및 노출시간 스케줄링(exposure-time scheduling) 기법을 도입하여 수행하였다. 본 실험에서는 사전 노출 시간 정도에 따른 회절 효율을 측정하는 실험을 통하여 최적의 사전 노출 시간을 15초로 적용하였다. 그리고, 회절격자 구성을 위한 기준빔과 참조빔의 직경크기는 2.54cm로 빔 세기는 기록되는 면에서 65mW/cm²로 동일하게 되도록 조절하여 실험하였다. 또한, 재현되는 4개의 스트립 패턴들의 회절 효율을 최대한 균일하게 만들어 주기 위해서는 최적의 노출시간 스케줄링의 적용이 요구되기 때문에 본 논문에서는 노출 에너지와 누적 격자강도(cumulative grating strength)와의 관계를 나타내는 4차 다항식의 수학적 모델을 사용하여 다시점 회절격자의 노출시간 스케줄링을 유도하였으며, 이러한 최적의 노출시간 스케줄링을 통한 반복실험을 수행하였다¹³⁾.

그림 10은 4시점의 VHLS 광학판을 제작하기 위해 유도된 최적의 기록시간 스케줄링을 나타낸 것이다.

한 시점의 물체파 영상이 N개의 스트립 패턴을 갖고 M시점으로 구성되는 경우, 포토폴리머를 이용한 VHLS 광학판의 제작과정은 다음과 같다. 먼저, 간섭 패턴을 기록하기 위한 물체파와 기준파는 모두 평면파로 구성하고 각 시점의 영상은 N개의 스트립 패턴으로 구성한다. 첫 번째 시점에 대한 스트

립 패턴의 기록은 각각의 스트립 윈도우의 첫 번째 피치를 개방하여 이루어진다. 이는 M시점의 경우 해당되는 피치를 시점의 개수 만큼 연속적으로 개방하여 반복적으로 기록한다는 것을 의미한다. 이때 기준과는 각 시점의 스트립 패턴 영상과 동기화되어 각 스트립 패턴이 기록될 위치로 스텝 모터를 1.8°의 각으로 회전시킨 후 셔터 1, 셔터 2를 개방하여 포토폴리머에 모든 개방된 피치에 따른 각각의 스트립 패턴의 개방된 피치에 회절격자가 기록될 수 있도록 한다. 또한, M시점의 두 번째 회절격자가 기록될 위치로 스텝모터를 회전시킨다. 두 번째 회절격자에 대한 기록은 첫 번째 방법과 동일하며 단지 물체파의 두 번째 피치를 모두 개방하여 대응되는 기준과와 간섭되어 기록되게 된다. 이와 같은 과정으로 4시점의 회절패턴을 각다중화 시키며 4번에 걸쳐 각 안식에 해당하는 스트립 패턴이 기록되게 된다.

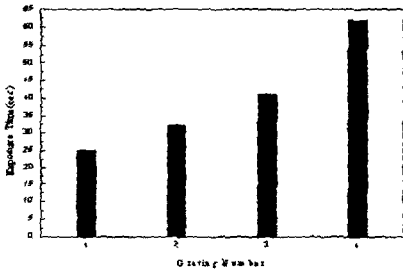


그림 10. 회절화된 4개 격자의 노출시간

그림 11은 4시점 VHLS 광학판을 제작하기 위한 회절격자 기록을 위한 개념도를 나타낸 것이다.

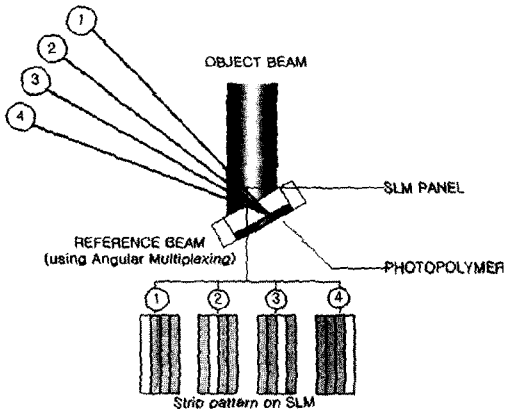


그림 11. 4시점 VHLS 광학판 제작을 위한 회절격자 기록 개념도

그림 12는 4시점의 VHLS 광학판을 이용한 스테레오 영상의 재생 시스템을 나타낸 것이다. 즉, 공간광변조기 패널에 VHLS 기록시의 윈도우 피치 및 각 피치의 크기와 동일한 크기로 합성된 4시점의 합성영상을 입력시키면 기록된 4시점의 VHLS 회절격자 패턴에 의해 디스플레이 평면으로 4시점의 스테레오 영상이 회절되어 나타나게 된다.

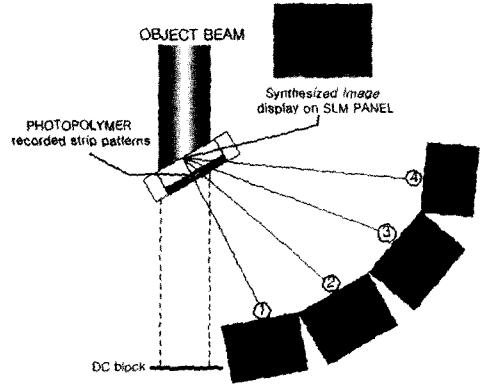


그림 12. VHLS 광학판에 의한 4시점 스테레오 영상의 재생 구성도

V. 실험 및 결과분석

본 논문에서는 적응적 변이추정에 의한 중간영상 합성 방식을 사용하여 4시점의 입력영상을 합성하고 이를 포토폴리머와 공간 광변조기를 이용해 제작된 4시점의 VHLS 광학판에 적용하여 4시점의 스테레오영상을 3차원적으로 디스플레이할 수 있는 시스템을 구현하였다. 실험에서 사용한 테스트 영상은 그림 5와 같이 1024X768 크기의 'Man' 영상을 사용하였고, 컴퓨터 모의실험은 'Microsoft Visual Studio 6.0'에서 수행하였다.

그림 13은 VHLS 광학판 기반의 4시점 스테레오 스코픽 3D 디스플레이 시스템의 광학 실험 구성도를 나타낸 것이고 그림 14는 공간광변조기 패널에 부착된 VHLS 광학판을 나타낸 것이다.



그림 13. 4시점 VHLS 광학판 기반의 3D 디스플레이 시스템의 광학실험 구성도

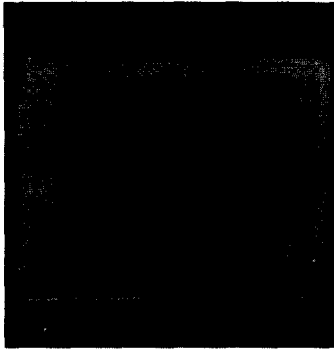


그림 14. 제작된 VHLS 광학판이 부착된 공간광변조기 패널 외형

본 실험에서는 GUI 환경에서 프로그램을 이용하여 4안식의 스트립 패턴을 4개 제작하였으며, 1024×768의 해상도를 가지는 공간광변조기를 이용하여 이 스트립 패턴을 디스플레이하고 각각의 안식에 해당되는 스트립 패턴의 정보를 가지는 물체파를 각 다중화된 기준파와 간섭시켜 각각의 피치에 따른 회절격자를 생성함으로써 4시점의 VHLS 광학판을 제작하였다. 다중화 각은 포토폴리머의 각 선택도를 고려하여 1.8°로 설정하였으며, 물체파와

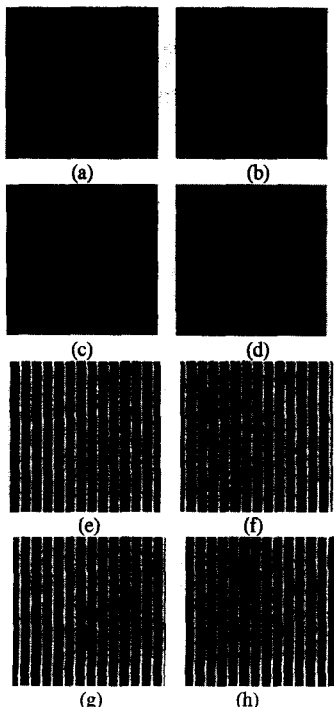


그림 15. 4시점 VHLS 제작용 스트립 패턴과 기록된 회절격자 패턴

기준파가 이루는 입사각은 각다중화되는 입사각의 각에 따라 30°~35°로 하여 기록하였다.

그림 15(a)~(d)는 원도우 피치 및 각 시점에 따른 피치를 형성하기 위한 입력 영상을 나타낸 것이며 그림 20(e)~(h)는 각각의 원도우 피치에 따른 회절격자가 포토폴리머에 기록된 모습을 나타낸 것이다. 여기서 VHLS 회절격자는 최적의 노출시간 스케줄링 기법을 이용하여 각 시점에 대한 회절 패턴이 동일한 기록되는 면에서 65mW/cm²의 동일한 빔세기를 갖도록 제작하였다.

그림 16은 제작된 4시점의 VHLS 광학판의 회절 특성을 분석하기 위해 평면파로 재생한 실험으로 디스플레이 평면에서 공간적으로 일정한 간격을 두고 분리된 4개의 회절영상이 나타남을 볼 수 있다.

따라서, 이를 통해 본 논문에서 제안한 포토폴리머 기반의 VHLS를 새로운 다시점 광학판으로써의 활용 가능성을 확인할 수 있다.



그림 16. VHLS 광학판에서 회절되는 4개의 지역

또한, 그림 17은 공간광변조기의 패널에 4시점의 스테레오 합성영상을 입력시킨 후 VHLS 광학판을 통해 공간적으로 분리되어 회절된 4시점의 영상을 렌즈를 써서 초점면에서 LCD를 통해 디스플레이된 영상이다. 그림에서 보면 각 시점 영상은 디스플레이 면에서 공간적으로 일정한 간격을 간격을 두고 서로 분리되어 나타남을 관찰할 수 있었으며, (a)와 (b), (b)와 (c), (c)와 (d)의 영상이 사람의 양쪽 눈에 각각 투영됨으로써 4시점의 스테레오스코픽 3D 시스템을 구현할 수 있었다.

이상의 이론적 분석 및 실험 결과를 통해, 본 논문에서 새로이 제안한 포토폴리머 기반의 VHLS 광학판의 활용 가능성과 이를 이용한 새로운 다시점 3D 디스플레이 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

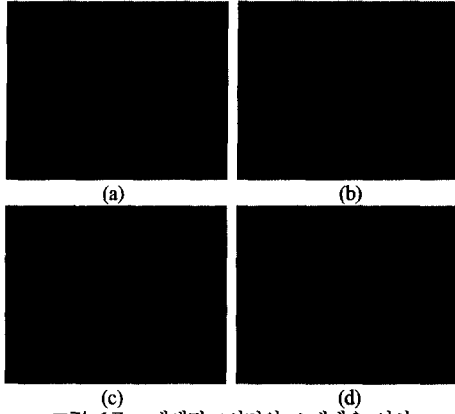


그림 17. 재생된 4시점의 스테레오 영상

V. 결론

본 논문에서는 VHLS 광학판을 이용한 새로운 다시점 스테레오스코픽 3D 디스플레이 시스템을 제시하였다. 즉, 새로이 제시된 VHLS는 일종의 광 방향 변조기로서 체적 홀로그램의 다중화 기록 특성을 이용하여 다시점 영상의 방향벡터를 회절격자 형태로 기록하여 제작된다. 이렇게 제작된 VHLS는 공간광변조기에 부착되어 패널에 입력되는 다시점의 스테레오영상을 각 시점에 해당하는 특정방향으로 공간적으로 분리해 줌으로써 다시점 3D 디스플레이가 가능하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 VHLS 광학판의 원리와 특성을 분석한 다음 포토폴리머 (HRF-150-100)를 이용하여 최적화된 4시점의 VHLS 광학판을 설계 제작하였다. 그리고, 제작된 4시점의 VHLS 광학판을 이용하여 다시점 3D 디스플레이 시스템을 구현하고 적응적 정합 알고리즘으로 합성된 4시점의 스테레오영상을 이용한 다양한 실험을 통해 제안된 VHLS 기반의 다시점 스테레오스코픽 3D 디스플레이 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

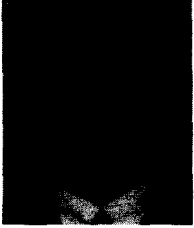
참고 문헌

[1] T. Okoshi, "Three-dimensional displays," Proc. IEEE, vol. PROC-68, pp.548-564, 1980.
 [2] V. S. Grinberg, G. Podner, M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", Proc. of SPIE, vol.2177, pp.56-65, February 1994.
 [3] 김은수/ 이승현, 3차원 영상의 기초, 기다리, 1998.
 [4] N. A. Dodgson, J. R. Moore and S. R. Lang,

"Multi-view autostereoscopic 3D display", IBC '99, pp.497-502, September 1999
 [5] J. Ohm and K. Muller, "Incomplete 3D representation of video objects for multiview applications", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., vol.9, no.2, 1999
 [6] J. S. McVeigh, M. W. Siegel, and A. G. Jordan "Intermediate view synthesis considering occluded and ambiguously referenced image regions", Signal Processing: Image Communication, vol.9, pp.21-28, 1996
 [7] A. Mancini, Disparity estimation and intermediate view reconstruction for noble applications in stereoscopic video, Master Thesis, McGill University, 1998
 [8] K. H. Bae, J. J. Kim, and E. S. Kim, "A new disparity estimation scheme based-on adaptive matching window for intermediate view reconstruction", Optical Engineering, vol. 42, no. 6, 2003
 [9] W. E. L. Grimson, "Computational experiments with a feature based stereo algorithm," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 7, no. 1, pp.17-34, 1985.
 [10] W. Ho and N. Ahuja, "Surfaces from stereo: Integrating feature matching, disparity estimation, and contour detection," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, no. 2, pp.121-136, 1989
 [11]<http://www.tnt.uni-hannover.de/js/project/eu/distima/images/>
 [12] A. Redert, E. Hendriks and J. Biemond, "Correspondence estimation in image pairs" IEEE Signal Processing Magazine, special issue on 3D and stereoscopic visual communication, vol. 16, no.3, pp.29-46, 1999
 [13] J. S. Koo, S. C. Kim, E. S. Kim, "Exposure schedule scheme for uniform intensities of the reconstructed beams in VHOE-based multi-view 3D display system", Proc. of SPIE Conference on Displays for Defense Applications: Cockpit Display IX, USA, 2002

이 상 우(Sang-Woo Lee)

정회원



2002년 2월 : 광운대학교

전자공학과 졸업

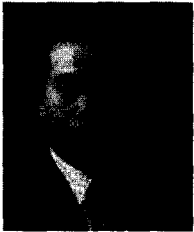
2004년 2월 : 광운대학교

전자공학과 석사

<관심분야> 3차원 영상 디스플
레이, 홀로그래픽 메
모리, 광공학

이 맹 호 (Maeng-Ho Lee)

정회원



1987년 2월 : 방송통신대학교

행정학과 졸업

1994년 2월 : 광운대학교

전자공학과 공학석사

2003년 2월 : 광운대학교

전자공학과 박사수료

2001년 3월 ~ 현재 : 신성대학

정보통신계열 조교수

<관심분야> 3차원 영상디스플레이, 스테레오 비전

김 은 수 (Eun-Soo Kim)

정회원

한국통신학회지 Vol.24, No. 9A 참조