
3차원 영상의 블록 중복성 및 N-LUT 기법을 이용한 3차원 홀로그램 프린지 패턴의 고속합성

김시형* · 구정식** · 김승철*** · 김은수****

Fast Generation of 3-D Hologram Fringe Patterns by using the Block Redundancy of 3-D Object Images and the Novel Look-up Table Method

Si-Hyung Kim* · Jung-Sik Koo** · Seung-Cheol Kim*** · Eun-Soo Kim****

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2012-0009224).

요 약

최근, 기존의 룩업테이블(LUT: Look-up Table) 방식의 과도한 메모리 공간문제를 해결하면서 동시에 홀로그램 프린지 패턴의 고속생성이 가능한 N-LUT(Novel Look-up Table) 기법이 제안되었다. 그러나 3차원 입력영상의 해상도가 증가함에 따라 계산해야 할 물체 포인트 수가 늘어나게 되고 결과적으로 과도한 홀로그램 계산시간이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 기존 N-LUT 방식에 3차원 물체영상의 블록 중복성을 효과적으로 이용함으로써 3차원 입체영상 홀로그램을 고속으로 생성할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다. 테스트 영상을 이용한 실험결과 새로이 제안된 기법이 기존 방식에 비해 5×5 블록의 경우 계산되는 물체 포인트 수는 43.3%, 계산시간은 47.9%로 각각 감소됨을 보임으로써 제안된 기법의 실제 응용 가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

Recently, the novel loop-up table(N-LUT) method to solve the tremendous memory problem of the conventional look-up table (LUT) method as well as to increase the generation speed of hologram patterns has been proposed. But, as the resolution of an input 3-D object is enhanced, the number of object points to be calculated for generation of its hologram pattern also increases, which results in a sharp increase of the computation time. Therefore, in this paper, a new approach for fast generation of the hologram pattern of 3-D object images is proposed by using the block redundancy feature of 3-D object images and the N-LUT method. Experimental results show that in the proposed method the number of object points and the overall computation time have been reduced by 43.3 % and 47.9 %, respectively compared to those of the conventional method for the case of the 5 × 5 block size. These good experimental results finally confirm the feasibility of the proposed method.

키워드

컴퓨터 생성 홀로그램, 블록 중복성, N-LUT

Keyword

Computer generated hologram (CGH), Block redundancy, Novel Look-up table

-
- * 준회원 : 광운대학교 전자공학과
** 정회원 : 광운대학교 전자공학과
*** 정회원 : 광운대학교 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터 (sckim@kw.ac.kr)
**** 정회원 : 광운대학교 전자공학과

접수일자 : 2012. 09. 26
심사완료일자 : 2012. 10. 22

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.11.2355>

©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.

I. 서 론

3차원 입체영상 기술은 향후 기존의 2차원 디지털 방송, 통신을 대신할 수 있는 차세대 실감 영상미디어로 기대되고 있다. 또한, 원격의료, 가상현실, 영화, 게임 산업 등에서도 그 영역을 크게 차지할 것으로 예상되고 있어, 그동안 다양한 3차원 영상디스플레이 방식이 제안되고 실제 여러 응용분야에서 활용되고 있다[1].

특히, 홀로그래피(holography) 기술은 원리적으로 완전한 3차원 입체영상 기술이기 때문에 개발 초부터 3차원 디스플레이 기술로 활용하기 위한 많은 연구가 이루어졌으나 여러 가지 현실적인 문제로 그 응용이 실질적으로 제한되어 왔다[2]. 즉, 기존의 광 홀로그램(optical hologram)은 가간섭성(coherent) 광인 레이저(laser)를 사용하여 만들어지기 때문에 실험 공간이 암실로 제한되고, 진폭과 위상 정보를 저장하기 위한 과정에서는 작은 움직임에도 간섭무늬가 파괴될 수 있기 때문에 매우 안정적인 광학 시스템이 요구된다. 이러한 광학 홀로그램 문제를 해결하는 새로운 접근 방법으로 컴퓨터를 이용하여 홀로그램 패턴을 생성하는 컴퓨터 형성 홀로그램(CGH: computer-generated hologram) 즉, 디지털 홀로그램(digital hologram) 기법이 제안되었다[3].

일반적으로 임의의 3차원 물체에 대한 디지털 홀로그램 패턴을 계산할 때 회절 빔을 계산하는 전통적인 접근 방식인 광선추적(Ray-tracing) 방법이 주로 사용되어 왔다. 이 방법에서는 3차원 물체를 점들의 집합으로 보고 각각의 물체 점들에 대한 홀로그램 패턴을 모두 계산하여 합산하게 된다. 따라서 이 방법은 과도한 계산량이 요구되기 때문에 복잡한 물체에 대한 실시간적 홀로그램 합성을 어렵게 한다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 룩업테이블(LUT: look-up table)을 이용한 새로운 디지털 홀로그램 계산 방법이 제안되었다[4]. 이 방법은 모든 가능한 물체 포인트에 대한 요소프린지패턴(EFP: Elemental Fringe Pattern)을 미리 계산하여 데이터베이스로 저장하게 된다. 따라서 임의의 물체에 대한 홀로그램 계산은 그 물체를 구성하고 있는 각 포인트에 대한 요소프린지패턴들을 이미 계산하여 저장해 놓은 데이터베이스에서 단순히 불러내어 합산함으로써 구하게 된다. 이러한 LUT 기법은 광선추적 기법에 비해 계산량이 크게 감소하여 디지털 홀로그램의 고속 생성이 가능하다. 하지만 이 방법은 물체영

역이 커질수록 필요로 하는 EFP의 개수가 크게 늘어나게 되고, 결국은 LUT의 메모리 용량이 크게 증가하게 되는 단점을 가지게 된다[5].

따라서 최근 기존의 LUT 방식의 장점인 고속의 연산 속도는 그대로 유지하면서 기존 LUT 방식의 단점인 방대한 메모리 공간을 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 방식인 N-LUT(Novel Look-up Table)가 제안되었다[5]. 이 방식에서는 3차원 물체를 각각의 깊이에 해당하는 평면들의 집합으로 보고, 또한, 각 평면은 자체 발광하는 물체 포인트들의 집합으로 간주하게 된다. 그리고 각 평면의 중앙에 있는 물체 포인트에 해당하는 대표 요소프린지패턴(PFP; Principal Fringe Pattern)을 미리 만들어 LUT에 저장하고, 이를 불러와 수평, 수직 방향으로 각각 이동시켜 평면상의 모든 물체 포인트들을 표현하게 된다.

따라서 N-LUT 방식에서는 물체의 깊이 방향에 대한 대표 요소프린지패턴만을 계산하여 저장하게 되고, 물체의 한 깊이 방향이 결정되면 그 면에 존재하는 모든 물체 포인트들의 요소프린지패턴들은 사전에 저장된 그 깊이의 대표 요소프린지패턴을 각 물체 포인트까지 이동시켜 프린지 패턴을 계산하여 그 깊이 평면에서의 홀로그램 패턴을 계산하게 된다. 같은 방법으로 모든 물체 깊이가 평면에서 각각의 홀로그램을 계산하여 합산함으로써 물체 전체에 대한 홀로그램 패턴을 계산하게 된다. 따라서 기존의 LUT 방식의 고속 생성 특성은 그대로 유지하면서 메모리 용량을 획기적으로 줄일 수 있게 되었다[5,6].

그러나 3차원 입체 동영상에 대하여 홀로그램 패턴을 생성할 경우 각 프레임에 대한 계산 데이터양은 크지 않지만 동영상의 프레임 수가 늘어남에 따라 계산해야 할 물체 포인트 수가 크게 증가하게 됨으로 3차원 동영상 홀로그램의 실시간적 패턴 생성에 한계가 주어지게 된다[7]. 또한, 3차원 영상의 해상도가 높아짐에 따라 계산될 물체 포인트 수가 많아지게 되고 결과적으로 홀로그램 패턴 생성시간이 또한 과도하게 증가하게 된다[8, 9].

따라서 이러한 기존의 N-LUT 기법에 대한 문제를 해결하기 위하여 그동안 3차원 영상에 대한 시간적 중복성, 공간적 중복성, 라인간 중복성 등을 이용하여 계산 포인트 수를 획기적으로 줄여줌으로써 디지털 홀로그램 패턴을 효과적으로 생성할 수 있는 다양한 기

법들이 제안되었다[7, 9]. 그러나 이러한 영상의 중복성을 이용하여 계산될 물체 포인트 수를 크게 줄일 수 있었지만 아직도 중복되는 영상 데이터가 많이 존재하게 된다.

따라서 본 논문에서는 3차원 영상의 물체 포인트를 일정한 크기로 그룹화 하여 블록 형태를 취함으로써 한 번에 많은 물체 포인트의 중복성을 제거하여 홀로그래프 패턴을 고속으로 생성할 수 있는 새로운 기법을 제안하고자 한다. 또한, 실험을 통해 본 논문에서 새로이 제안한 블록 중복성을 고려한 N-LUT 기반의 3차원 홀로그래프 합성기법의 성능을 기존 방법과 비교 분석함으로써 제안된 기법의 실제 응용 가능성을 제시하고자 한다.

II. 기존의 N-LUT 기법

2.1. 기존의 LUT 방식

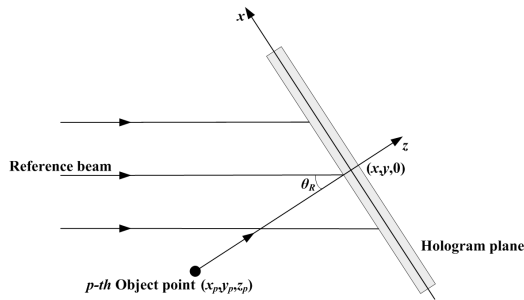


그림 1. 프레넬 홀로그래프의 기하학적 계산
Fig. 1 Geometrical model for generation of Fresnel hologram

디지털 홀로그래프 패턴은 픽셀들의 좌표 값과 세기 값에 의해 컴퓨터 계산으로 생성된다. 즉, 디지털 홀로그래프 패턴을 생성하는 기하학적 구조는 [그림 1]과 같으며, [그림 1]에서 홀로그래프는 $z=0$ 인 x - y 평면에 위치하고, 물체의 p 번째 점은 (x_p, y_p, z_p) 에 위치하고 a_p 의 세기값과 ϕ_p 의 위상값을 갖는다고 가정한다.

이 때, 홀로그래프에서 복소 진폭 $O(x, y)$ 는 식 (1)에서 나타난 것처럼 물체파의 중첩으로 구할 수 있다.

$$O(x, y) = \sum_{p=1}^N \frac{a_p}{r_p} \exp[j(kr_p + \phi_p)] \quad (1)$$

여기서 N, a_p 는 물체를 구성하는 점들의 수와 물체파의 세기를 각각 나타내고, 파수(wave number) 벡터 k 는 $k = 2\pi/\lambda$ 로 정의되며 λ 는 자유공간상에서의 빛의 파장을 각각 나타낸다. 편의상 $\exp(jat)$ 는 식 (1)에서 포함시키지 않았다.

또한, 평면파인 기준파의 복소진폭 $R(x, y)$ 는 식 (2)과 같이 주어진다.

$$R(x, y) = a_R \exp[j(-kx \sin \theta_R)] \quad (2)$$

여기서 a_R 과 θ_R 은 기준파의 세기와 입사각을 각각 나타낸다. 홀로그래프 면에서의 전체적인 격자 세기는 식 (3)과 같이 물체파 $O(x, y)$ 와 기준파 $R(x, y)$ 사이의 간섭패턴으로 주어진다.

$$I(x, y) = |O(x, y) + R(x, y)|^2 \\ = |R(x, y)|^2 + |O(x, y)|^2 \\ + 2|R(x, y)||O(x, y)| \cos[kr_p + kx \sin \theta_R + \phi_p] \quad (3)$$

식 (3)에서 첫 번째와 두 번째 항은 물체파와 기준파의 세기를 각각 나타내며, 세 번째 항은 홀로그래프 정보를 부분적으로 포함하고 있는 물체파와 기준파 사이의 간섭 패턴을 의미한다. 식 (4)에서 홀로그래프 정보는 오직 세 번째 항에만 포함되어 있기 때문에 홀로그래프 패턴 $I(x, y)$ 는 최종적으로 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$I(x, y) = 2 \sum_{p=1}^N \frac{a_p}{r_p} \cos(kr_p + kx \sin \theta_R + \phi_p) \quad (4)$$

디지털 홀로그래프의 연산속도를 향상시키기 위한 새로운 접근방법으로 LUT 방식이 M. Lucente에 의해 제안되었다[4]. 이 방식은 가능한 물체영상 공간 내의 모든 점 (x_p, y_p, z_p) 에 대하여 기준 세기의 요소프린지 패턴 $T(x, y)$ 를 미리 계산하여 테이블로 만들어 놓은 후에, 물체에 따라 필요한 포인트에 대한 EFP를 불러내어 사용하는 방식이다.

일반적으로 실세계의 공간은 연속적이다. 따라서 실세계의 공간은 무한한 점을 갖게 되고 LUT를 이용해 홀

로그래를 만들기 위해서는 무한개의 EFP가 필요하게 된다. 하지만 인간의 시각 시스템의 능력은 제한되어 있기 때문에 물체 점들을 이산화(discretization)하여 홀로그래를 합성하여도 물체 영상의 해상도 저하 없이 영상을 재생할 수 있게 된다. 이때 이산화정도는 사람의 눈에 인지되지 않을 정도로 충분히 작아 연속적인 두 개의 점이 떨어져 있지 않고 연속적인 점으로 인식될 수 있어야 한다. 예를 들면, 인간은 3 miliradian의 간격을 갖는 두 점을 하나의 점으로 인식하게 된다[3, 4]. 따라서 200 mm의 거리에서 물체영상을 바라보는 경우는 $200\text{ mm} \times 0.003 = 60\text{ microns}$ 이하의 간격의 점을 하나의 점으로 인식하게 됨으로 본 논문에서는 수직, 수평의 이산화 정도를 60 micron으로 사용하였다[4].

LUT 방식의 EFP는 식 (1)로부터 생성해 낼 수 있다. 즉, 기준 세기를 갖는 EFP $T(x, y; x_p, y_p, z_p)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$T(x, y, x_p, y_p, z_p) \equiv \frac{1}{r_p} \cos [kr_p + kx \sin \theta_R + \phi_p] \quad (5)$$

여기서, r_p 는 p번째 점과 홀로그래 평면 $(x, y, 0)$ 사이의 거리로 식 (6)과 같이 주어진다.

$$r_p = \sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2 + z_p^2} \quad (6)$$

이 방식에서는 홀로그래를 계산할 때 식 (4)와 같이 각 점에 대한 프린지 패턴을 필요할 때마다 계산하는 것이 아니라 미리 만들어놓은 각 점 (x_p, y_p, z_p) 에 대한 요소 프린지패턴의 집합인 룩업테이블을 이용하여 계산하게 된다. 따라서 LUT 방식에서 홀로그래 정보 $I(x, y)$ 는 최종적으로 식 (7)과 같이 주어진다.

$$I(x, y) = \sum_{p=1}^N a_p T(x, y; x_p, y_p, z_p) \quad (7)$$

위의 식에서 N은 물체 포인트의 개수를 나타낸다.

2.2. 기존의 N-LUT 방식

최근, 기존의 LUT 방식의 장점인 고속의 연산속도는 그대로 유지하면서 기존 LUT 방식의 단점인 방대한 메모리 용량을 크게 줄일 수 있는 N-LUT 방식이 제안되었

다[5]. 이 방식에서는 3차원 물체를 각각의 깊이에 해당하는 평면들의 집합으로 모델링하고, 각 평면은 자체 발광하는 물체 포인트들의 집합으로 간주하게 된다. 그리고 각 평면의 중앙에 있는 물체 포인트에 해당하는 대표 요소프린지패턴인 PFP를 미리 만들어 LUT에 저장하고, 이를 불러와 x, y 방향으로 각각 이동시켜 평면상의 모든 점들을 표현하게 된다.

즉, 각각의 PFP $T(x, y; z_p)$ 는 임의의 깊이 z_p 에 대한 기준 세기의 프레넬 존 플레이트(Fresnel zone plate)가 되고 식 (8)과 같이 주어진다.

$$T(x, y; z_p) \equiv \frac{1}{r_p} \cos [kr_p + kx \sin \theta_R + \phi_p] \quad (8)$$

여기서 r_p 는 p번째 점과 홀로그래 평면 $(x, y, 0)$ 사이의 거리로 식 (6)과 같이 주어진다.

따라서 N-LUT 방식에서는 물체의 깊이 방향에 대한 PFP만을 계산하여 저장하게 되고, 물체의 한 깊이 방향이 결정되면 그 면에 존재하는 모든 물체 포인트들의 요소프린지패턴들은 사전에 저장된 그 깊이의 대표 요소프린지패턴을 각 물체 포인트까지 이동시켜 프린지 패턴을 계산하여 그 깊이 평면에서의 홀로그래 패턴을 계산하게 된다. 같은 방법으로 모든 물체 깊이 평면에서 각각의 홀로그래를 계산하여 합산함으로써 물체 전체에 대한 홀로그래 패턴을 계산하게 된다. 따라서 N-LUT 방식에서 홀로그래 정보 $I(x, y)$ 는 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$I(x, y) = \sum_{p=1}^N a_p T(x-x_p, y-y_p; z_p) \quad (9)$$

III. 3차원 영상의 블록 중복성

일반적으로 3차원 영상의 인접한 픽셀들 간에는 같은 값을 갖거나 유사한 값을 갖게 된다. 그림 2(a), (b)는 두 개의 주사위로 이루어진 3차원 영상을 나타내고 그림 2(c)는 그 일부를 확대한 영상이다. 이를 보면 크게 5가지 영역으로 나뉘는 것을 볼 수 있다. 즉, 영역 'I', 'II', 'IV', 'V' 영역을 보면 각각 같은 밝기값과 깊이 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 그리고 영역 'III'의 경우 다양한 값을 갖는

것을 볼 수 있다. 그림 2(d)의 경우 그림 2(c)의 영상을 분석하여 같은 밝기 및 깊이 값을 갖는 2x2 크기의 블록 영역을 추출한 것이다. 이를 보면 'IV', 'V' 영역의 경우 각각 3개, 4개의 영역이 존재하는 것을 볼 수 있다.

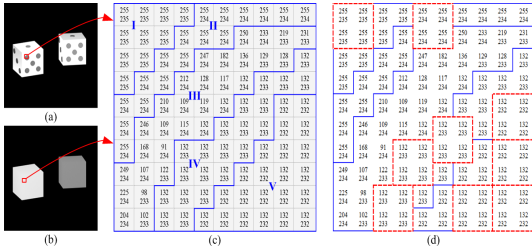


그림 2. 3차원 영상의 블록 중복성
(a) 밝기 영상, (b) 깊이 영상, (c) 추출된 부분의 밝기 값 및 깊이 값, (d) 추출된 부분에서 2x2 크기로 추출된 블록 중복성

Fig. 2 Spatial redundancy of a 3-D image
(a) Intensity image, (b) Depth image, (c) Intensity and depth values of the pixels, (d) 2x2 Block redundancy having the same intensity and depth values

따라서 2x2 영역을 표현할 수 있는 2x2 PFP를 사용하면 다면 4개의 포인트를 한 번에 계산할 수 있고, 이를 이동시키면 나머지 2x2 영역도 한 번에 표현할 수 있게 된다. 즉, 영역 'IV'의 경우 16개의 포인트를 4번의 계산만으로 구할 수 있게 된다. 따라서 이와 같이 3차원 영상의 블록 중복성을 이용하게 되면 홀로그래프 패턴을 효율적으로 생성할 수 있게 된다.

IV. 새롭게 제안된 기법

기존의 LUT 기법에서는 가능한 모든 물체 포인트에 대한 EFP를 사전에 계산, 저장하여 사용함으로써 3차원 홀로그래프 패턴의 고속 합성을 가능하게 했다. 그러나 이 기법의 가장 큰 단점은 미리 계산해놓은 EFP의 데이터 양이 너무 방대하여 이를 저장할 LUT의 메모리 용량 또한 엄청나게 증가하게 된다는 것이다. 예를 들어, LUT 기법에서 물체공간이 100(가로)×100(세로)×100(깊이)이고, 각 EFP의 데이터 용량이 1MB라고 가정하면 전체 LUT 메모리 용량은 1TB(1MB×100×100×100)에 이르게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 N-LUT 기법은 LUT의 고속 홀로그래프 패턴 계산 속도를 그대로 유지면서도 필요로 하는 메모리 공간을 크게 줄일 수 있었다. 그러나 N-LUT의 경우도 연산해야 할 물체 포인트 수가 많아지게 되면 늘어나는 포인트 수에 비례하여 계산 시간도 증가하게 된다.

따라서 본 논문에서는 3차원 영상의 블록 단위의 중복성을 추출하여 연산 포인트 수를 줄여줌으로써 3차원 영상에 대한 홀로그래프를 고속으로 생성할 수 있는 새로운 기법을 제시하였다.

그림 3은 새로이 제시된 3차원 영상의 블록 중복성과 N-LUT 기법을 이용하여 3차원 영상에 대한 홀로그래프를 효과적으로 생성할 수 있는 방법의 전체 블록 다이어그램을 나타낸 것으로 크게 네 부분으로 나눌 수 있다. 즉, 첫 번째 단계에서 3차원 물체로부터 밝기정보와 깊이정보를 추출하여 이로부터 같은 밝기 및 깊이 값을 갖는 영역을 블록화 한다. 두 단계에서는 분석된 블록 중복성을 기반으로 PFP를 변형하여 N×N-point PFP를 생성하게 된다. 세 번째 단계에서는 블록 중복성 맵과 3차원 정보 그리고 PFP들을 이용하여 홀로그래프를 고속으로 생성하는 단계이고 마지막 단계에서 생성된 홀로그래프 패턴을 복원하게 된다.

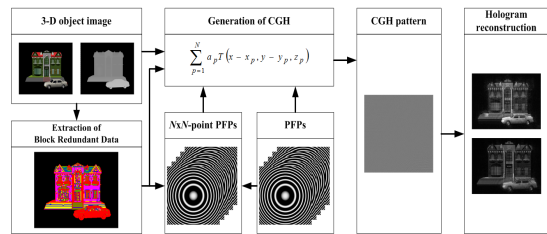


그림 3. 제안된 블록 중복성 기반의 3차원 홀로그래프의 고속생성 기법

Fig. 3 Block diagram of the proposed method for generation of the CGH of a 3-D image

4.1. 3차원 물체로부터 3차원 정보 및 공간적 중복성 추출

그림 4는 실험에 사용한 500×400의 해상도를 갖는 3차원 물체영상으로 자동차와 집으로 이루어져 있고, 자동차는 앞쪽에 집은 뒤쪽에 위치하고 있다.

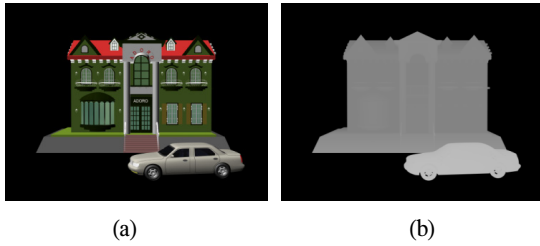


그림 4. 실험에 사용한 3차원 물체영상
(a) 밝기 영상, (b) 깊이 영상
Fig. 4 3-D image used in experiment
(a) intensity image (b) depth image

그림 5는 입력 물체영상에 대하여 영상 전체를 2×2, 3×3, 4×4 및 5×5의 크기로 각각 스캔하여 블록 중복성을 분석한 것이다. 즉, 그림 5(d)의 5×5 블록 중복성 맵의 경우, 입력영상을 5×5로 스캔한 후 남은 이미지를 4×4로 스캔하고, 그 후 남은 부분은 각각 3×3, 2×2로 스캔하여 분석한 영상을 나타낸 것이다. 이를 보면 분홍색은 5×5의 블록 크기에서 밝기와 깊이가 같은 부분을 나타내고, 노란색은 4×4, 파란색은 3×3, 녹색은 2×2의 영역이 같은 밝기값과 깊이값을 갖는 것을 나타낸다. 그리고 붉은색의 경우 주변과 다르거나 2×2 이하의 영역이 같은 값을 갖는 것을 나타낸다.

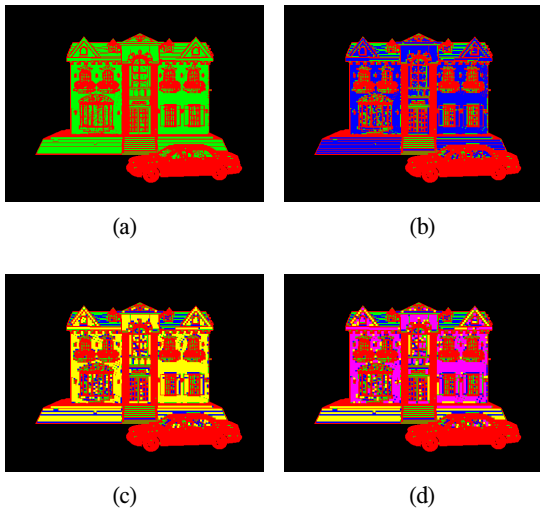


그림 5. 입력영상의 블록 중복성 맵
(a) 2×2, (b) 3×3, (c) 4×4, (d) 5×5
Fig. 5 Block redundancy maps of input images
(a) 2×2, (b) 3×3, (c) 4×4, (d) 5×5

표 1은 분석된 블록 중복성 맵을 수치화한 것으로 기존 방법에서는 총 75,871 포인트를 계산해야 하지만 제안된 방법에서는 2×2, 3×3, 4×4 그리고 5×5 블록의 경우 49,708, 45,780, 43,483, 43,007 포인트로 각각 줄어들어 기존 방법에 비해 각각 34.5%, 39.7%, 42.7%, 43.3%로 계산량이 줄어들게 된다.

표 1. 블록크기에 따른 계산될 물체 포인트 수 변화
Table. 1 Comparison results of the number of object points to be computed

| | 기존 방법 | 제안된 방법 | | | |
|---------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 2×2 블록 | 3×3 블록 | 4×4 블록 | 5×5 블록 |
| 연산 포인트수 | 75,871 (100%) | 49,708 (65.5%) | 45,780 (60.3%) | 43,483 (57.3%) | 43,007 (56.7%) |

4.2. N×N-point PFP의 생성

그림 6은 임의의 깊이 평면에서의 N×N-point PFP의 생성 절차를 나타낸 것이다.

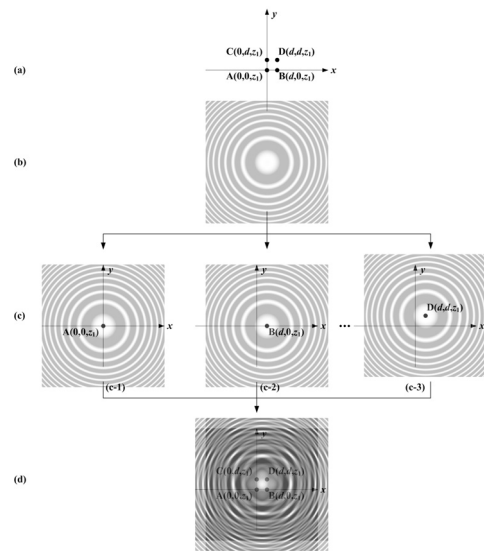


그림 6. N×N point PFP 생성 절차
(a) 2×2의 인접한 포인트, (b) 1-point PFP,
(c) 1-point PFP의 이동, (d) 2×2 point PFP
Fig. 6 Generation process of a 2×2-point PFP
(a) 2×2 adjacent point, (b) 1-point PFP,
(c) Shift of 1-point PFP, (d) 2×2 point PFP

여기서 z_1 평면에서의 각각의 물체 포인트는 그림 6(a)와 같이 $A(0,0,z_1), B(d,0,z_1), C(0,d,z_1), D(d,d,z_1)$ 로 구성 되어 있다. 그리고 그림 6(b)는 1-point PFP를 나타낸 것으로 이를 이용하여 그림 6(c)와 같이 각각의 포인트 위치로 이동시키고 이를 모두 더하게 되면 그림 6(d)와 같은 2×2-point PFP를 만들 수 있게 된다. 여기서 사용한 1-point PFP는 식(8)과 같이 표현되고, 이로부터 2×2-point PFP는 식 (10)과 같이 표현할 될 수 있다.

$$T_{2 \times 2} \equiv T(x,y;z_p) + T(x-d,y,z_p) + T(x,y-d;z_p) + T(x-d,y-d;z_p) \quad (10)$$

여기서 d 는 포인트 간의 떨어진 간격을 나타내고 이를 $N \times N$ -point PFP로 일반화하게 되면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{N \times N} \equiv \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N T(x-(k-1)d, y-(l-1)d; z_p) \quad (11)$$

따라서 블록 중복성 맵을 이용하여 $N \times N$ 포인트가 같은 값을 갖는다면 식(11)에 의해 생성된 $N \times N$ -point PFP를 이용하여 한 번에 연산할 수 있게 되어 계산량 및 계산시간이 획기적으로 줄어들 수 있게 된다.

4.3. $N \times N$ -point PFP를 이용한 홀로그래프의 생성

그림 7은 $N \times N$ -point PFP 기반의 3차원 홀로그래프 생성 과정을 나타낸 것이다.

이를 보면 입력영상은 그림 7(a)와 같이 임의의 평면 z_p 에 존재하는 $A(-x_1, y_1, z_1), B(-x_1+d, y_1, z_1), C(-x_1, y_1+d, z_1), D(-x_1+d, y_1+d, z_1), E(x_2, -y_2, z_1), F(x_2+d, -y_2, z_1), G(x_2, -y_2+d, z_1), H(x_2+d, -y_2+d, z_1)$ 의 8개의 포인트로 구성된다. 입력영상은 두개의 그룹으로 나눌 수 있고 각각의 그룹은 포인트 간 거리 d 를 갖는 2×2의 블록으로 구성된다. 따라서 이에 해당하는 그림 7(c)와 같은 2×2-point PFP를 이용하여 그림 7(d)와 같이 이동시키고 이를 모든 포인트에 대하여 수행한다. 마지막으로 그림 7(f)와 같이 해당되는 홀로그래프 영역에 대해서만 값을 추출하여 최종 홀로그래프 패턴을 생성하게 된다.

본 논문에서는 앞에서 언급한 것처럼 3차원 실험용 영상으로 그림4와 같은 자동차와 집으로 구성된 영상을 사용하였다. 각 영상은 500×400 의 해상도를 갖고, 홀로그래프의 크기는 $1,600 \times 1,600$ 으로, 홀로그래프의 픽셀 크기는 $10 \mu m \times 10 \mu m$ 로 하였다. 또한 시정거리는 200 mm 로 하였고, $60 \mu m$ ($200 \text{ mm} \times 0.003$) 이하의 간격의 점을 하나의 점으로 인식하게 됨으로 본 논문에서는 수직, 수평의 이산화 정도를 $60 \mu m$ 으로 사용하였다[4].

따라서 이웃한 점을 표현하기 위해서는 $60 \mu m$ 이동하여야 하고 결국 6 픽셀을 이동하게 된다. 또한 이미

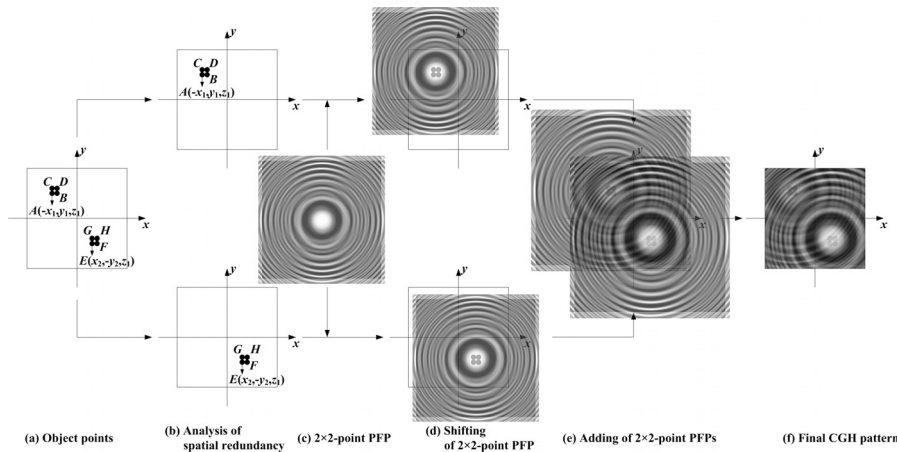
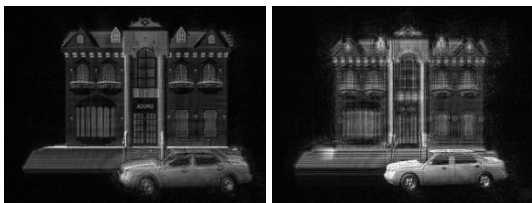


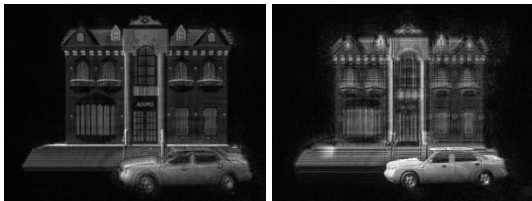
그림 7. $N \times N$ -point PFP 기반의 3차원 홀로그래프 생성과정
Fig 7. Generation process of the CGH pattern with the $N \times N$ -point PFP in the proposed method

지 공간의 첫 번째 포인트부터 마지막 포인트까지 표현하기 위해서는 요소프린지패턴을 수평/수직 방향으로 각각 500×6 픽셀 = 3,000 픽셀 / 400×6 픽셀 = 2,400 픽셀만큼 각각 이동시켜야 한다. 다시 말하면, 홀로그램 패턴의 크기가 $1,600 \times 1,600$ 이므로, 전체 요소프린지패턴의 크기는 $4,600(1,600+3,000) \times 4,000(1,600+2,400)$ 이 된다.

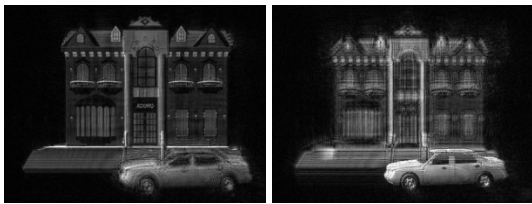
그림 8은 기존 N-LUT 방식과 제안된 방식에 의하여 생성된 홀로그램을 각각 복원한 영상을 나타낸 것이다. 이를 보면 기존 N-LUT 기법과 비교하여 복원영상에 차이가 없는 것을 볼 수 있다.



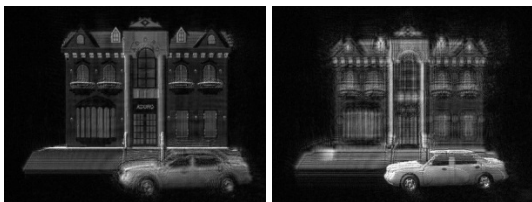
(a)



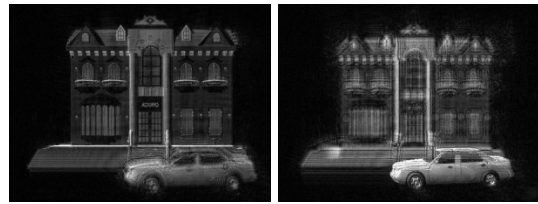
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 8. 기존의 N-LUT 기법과 제안된 기법에 의해 생성된 홀로그램의 복원영상 : (a) N-LUT 기법 (b) 제안된 기법 (2x2) (c) 제안된 기법 (3x3) (d) 제안된 기법 (4x4) (e) 제안된 기법 (5x5)

Fig. 8 Object images reconstructed from the CGH patterns generated with the conventional and proposed methods : (a) N-LUT method, (b) Proposed method (2x2), (c) Proposed method (3x3), (d) Proposed method (4x4), (e) Proposed method (5x5)

표 2는 각 기법에 따른 연산 포인트 수, 포인트 당 계산 시간, 요구되는 메모리 용량을 각각 나타낸다. 이를 보면 기존 N-LUT 기법에 비해 제안된 기법의 연산 포인트 수는 2x2, 3x3, 4x4, 5x5 블록에 대해 34.5%, 39.7%, 42.7%, 43.3%로 각각 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 포인트 당 계산시간도 기존 N-LUT 기법에 비해 38.1%, 43.1%, 47.1%, 47.9%로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 반면에 요구되는 메모리는 $N \times N$ -point PFP를 저장해야 하므로 기존 방식에 비해 200%, 300%, 400%, 500%로 각각 늘어남을 볼 수 있다.

표 2. 각 기법에 따른 연산 포인트 수, 포인트 당 계산시간, 전체 메모리 용량

Table. 2 Comparison results of the average computation point, time and required memory space

| | 기존 방법 | 제안된 방법 | | | |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 2x2 블록 | 3x3 블록 | 4x4 블록 | 5x5 블록 |
| 연산 포인트 수 | 75,871 (100%) | 49,708 (65.5%) | 45,780 (60.3%) | 43,483 (57.3%) | 43,007 (56.7%) |
| 포인트 당 계산 시간(ms) | 16.27 (100%) | 10.23 (62.9%) | 9.25 (56.9%) | 8.60 (52.9%) | 8.49 (52.1%) |
| 전체 메모리 용량(GB) | 2.44 (100%) | 4.88 (200%) | 7.32 (300%) | 9.76 (400%) | 12.2 (500%) |

이러한 실험 결과로부터 3차원 영상에 대한 홀로그램 생성시 제안된 방법을 사용하여 3차원 영상의 블록 중복성을 제거하게 되면 기존 방법에 비하여 계산하여야 하는 물체 포인트의 수를 현저하게 줄어들게 함으로써 결과적으로 고속의 홀로그램 생성을 가능하게 함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 N-LUT 방식에 3차원 물체영상의 블록 중복성을 효과적으로 이용함으로써 고속으로 3차원 홀로그램 프린지 패턴을 생성할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다. 실험결과 새로이 제안된 기법이 기존 방식에 비해 5×5 블록의 경우 계산되는 물체 포인트 수는 43.3%로, 계산시간은 47.9%로 각각 감소됨을 보임으로써 제안된 기법의 실제 응용 가능성을 제시하였다. 또한 본 논문에서 제안된 기법을 사용하게 되면 메모리 용량이 증가하게 되나 최근 연구되고 있는 1-D SUB PFP 기법을 사용하게 되면 메모리의 획기적인 감소 또한 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2012-0009224).

참고문헌

- [1] 김은수, 이승현 공역, 3차원 영상의 기초, 기다리, 1998.
- [2] C. J. Kuo and M. H. Tsai, *Three-Dimensional Holographic Imaging* (John Wiley & Sons, 2002).
- [3] A. W. Lohmann and D. P. Paris, "Binary Fraunhofer holograms generated by computer," *Appl. Opt.*, Vol. 6, No. 10, pp. 1739-1748, 1967.

- [4] M. Lucente, "Interactive computation of holograms using a look-up table," *J. Electron. Imag.*, Vol. 2, No. 1, pp. 28-34, 1993.
- [5] S.-C. Kim and E.-S. Kim, "Effective generation of digital holograms of 3-D objects using a novel look-up table method," *Appl. Opt.*, Vol. 47, No. 19, D55-D62, 2008.
- [6] S.-C. Kim, J.-H. Kim, E.-S. Kim, "Effective reduction of the novel look-up table memory size based on a relationship between the pixel pitch and reconstruction distance of a computer-generated hologram", *Appl. Opt.*, Vol. 50, No. 19, pp. 3375-3382, 2011.
- [7] S.-C. Kim, J.-H. Yoon and E.-S. Kim, "Fast generation of 3-D video holograms by combined use of data compression and look-up table techniques," *Appl. Opt.*, Vol. 47, No. 32, pp. 5986-5995, 2008.
- [8] S.-C. Kim and E.-S. Kim, "Fast computation of hologram patterns of a 3-D object using run-length encoding and novel look-up table methods," *Appl. Opt.*, Vol. 48, No. 6, pp. 1030-1041, 2009.
- [9] S.-C. Kim, W.-Y. Choe and E.-S. Kim, "Accelerated computation of hologram patterns by use of interline redundancy of 3-D object images", *Opt. Eng.*, Vol. 50, No. 9, 091305, 2011.

저자소개



김시형(Si-Hyung Kim)

2011년 2월 동양대학교 정보통신 공학과 졸업
2011년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

※관심분야: 3차원 디스플레이, 홀로그래픽 디스플레이, GPU



구정식(Jung-Sik Koo)

2000년 2월 광운대학교 전자공학과
졸업
2002년 2월 광운대학교 전자공학과
석사

2004년 2월 광운대학교 전자공학과 박사수료

※관심분야: 3차원 디스플레이, 홀로그래픽 디스플레이,
패럴렉스 배리어 디자인



김승철(Seung-Cheol Kim)

2002년 2월 광운대학교 전자공학과
졸업
2004년 2월 광운대학교 전자공학과
석사

2007년 2월 광운대학교 전자공학과 박사

2007년 3월 ~ 2011년 12월 광운대학교 차세대 3D
디스플레이연구센터 연구교수

2012년 1월 ~ 현재 광운대학교 홀로디지로그 휴먼
미디어 연구센터 연구교수

※관심분야: 3차원 디스플레이, 홀로그래픽 디스플레이,
광공학



김은수(Eun-Soo Kim)

1978년 2월 연세대학교 전자공학과
공학사
1980년 2월 연세대학교 대학원
전자공학과 공학석사

1984년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1987년 2월 ~ 1988년 8월 California Instituted
Technology 전자공학과 객원교수

1992년 3월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 3D 영상, 3D 디스플레이, 3DTV, 홀로
그래피