

록업테이블 및 3차원 영상의 중복성 기반의 홀로그램 생성 기술

1. 서론

홀로그래피 기술은 원리적으로 완전 3차원 입체영상 기술이기 때문에 개발 초부터 3차원 디스플레이 기술로 활용하기 위한 많은 연구가 이루어졌으나 여러 가지 현실적인 문제로 그 응용이 실질적으로 제한되어 왔다. 즉, 기존의 광 홀로그램(optical hologram)은 가 간섭성 광인 레이저 광을 사용하여 만들어지기 때문에 실험공간이 압실로 제한되고, 진폭과 위상정보를 저장하기 위한 과정에서는 작은 움직임에도 간섭무늬가 파괴될 수 있기 때문에 매우 안정적인 광학 시스템이 요구된다. 이러한 문제를 해결하는 새로운 접근방법으로 컴퓨터를 이용하여 홀로그램 패턴을 생성하는 컴퓨터 형성 홀로그램(CGH: computer generated hologram) 기법이 제안되었다.

이블(LUT: look-up table)을 이용한 새로운 디지털 홀로그램 계산 방법이 제안되었다. 이 방법은 모든 가능한 물체 포인트에 대한 요소 프린지 패턴(EFP: elemental fringe pattern)을 미리 계산하여 데이터 베이스(database)로 저장한다. 그리고 임의 물체에 대한 홀로그램 계산은 그 물체를 구성하고 있는 각 포인트에 대한 요소 프린지 패턴들을 이미 계산하여 저장해 놓은 데이터 베이스에서 단순히 불러내어 합산함으로써 구한다[1]. 이러한 록업테이블 방식은 광선추적 방식에 비해 계산량이 크게 감소하여 디지털 홀로그램의 고속 생성이 가능해진다. 하지만 이 방법은 물체영역이 커질수록 필요로 하는 EFP의 개수가 크게 늘어나게 되고, 결국은 록업테이블의 메모리 용량이 크게 증가하게 되는 단점을 가지고 있다[2].

최근 기존의 LUT 방식의 장점인 연산 속도는 유지를 하

특집 ■ 홀로그래피

록업테이블 및 3차원 영상의 중복성 기반의 홀로그램 생성 기술

김승철, 김은수*

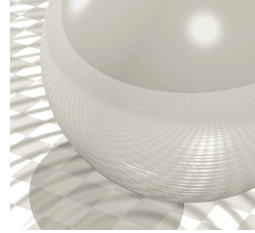
일반적으로 임의 물체에 대한 디지털 홀로그램 패턴을 계산할 때 빛의 회절을 계산하는 광선추적(ray-tracing) 방식이 주로 사용되어 왔다. 이 방식에서는 물체를 점들의 집합으로 보고 각각의 물체 점들에 대한 홀로그램 패턴을 모두 계산하여 합산하게 된다. 따라서 이 방법은 과도한 계산량이 요구되기 때문에 복잡한 물체에 대한 실시간 홀로그램 합성을 어렵게 한다 [1,2].

이러한 문제점을 극복하기 위하여 여러 가지 홀로그램 생성 알고리즘이 제안 되었는데 그 중 대표적으로 록업테

면서 기존 LUT 방식의 단점인 방대한 메모리 공간을 줄일 수 있는 NLUT(Novel Look-up Table) 방식과 이 특성을 이용하여 3차원 영상의 중복성 정보를 제거하여 연산 속도를 향상시키는 방법들이 제안 되었다. 본 고에서는 이러한 NLUT 방식과 3차원 영상의 중복성 정보 제거를 통한 홀로그램 연산속도 향상 기법에 대해 소개하고자 한다.

2. NLUT 기반의 홀로그램 생성 기술 및 그 특성

* 광운대학교 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터



NLUT 방식에서는 물체영역의 가로, 세로 방향에 관계 없이 깊이 방향에 대한 각각의 요소 프린지 패턴만을 사전에 미리 계산하여 저장한다. 그리고 물체의 한 깊이 방향이 결정되면 그 면에 존재하는 물체 포인트들의 요소 프린지 패턴(PFP; Principle Fringe Pattern)은 사전에 계산되어 저장된 그 깊이의 요소 프린지 패턴을 각 해당 포인트까지 좌, 우로 이동시키며 모든 포인트에 대한 프린지 패턴을 합산하여 그 깊이의 홀로그램 패턴을 계산하게 된다. 같은 방법으로 모든 물체 깊이 방향에서 각 물체 포인트에 대한 모든 홀로그램을 계산하여 합산함으로써 물체 전체에 대한 홀로그램 패턴을 계산하게 된다. 따라서 기존 LUT 방식은 가로, 세로, 깊이 모든 방향의 물체 포인트에 대한 요소 프린지 패턴의 사전 저장이 요구되나, NLUT 방식에서는 단지 물체 깊이 방향에 대한 프린지 패턴만의 사전 저장이 요구되기 때문에 록업테이블 메모리 용량이 크게 줄어들게 된다[2].

NLUT 기법에서는 홀로그램을 생성하기 위하여 물체를 자체 발광하는 점들의 집합으로 간주하고 물체의 각 점들은 a_p 의 밝기값을 가지고 수직, 수평, 깊이 방향에서 x_p, y_p, z_p 에 위치한다고 가정한다. 기존의 록업테이블의 크기를 줄이기 위하여 새로이 제시된 NLUT를 구성하고, 이 록업테이블은 물체의 한 깊이에 대해서 하나의 요소 프린지 패턴 $T(x, y; z_p)$ 만을 갖게 된다. 그리고 이

요소 프린지 패턴은 각각의 깊이에서 기준 세기를 갖는 기준점에 대한 프린지 패턴을 나타낸다. 즉, 각각의 요소 프린지 패턴 $T(x, y; z_p)$ 은 각 깊이에 대한 기준 세기의 프레넬 존 플레이트(Fresnel zone plate)가 되고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

여기서 r_p 는 p 번째 점과 $(x, y, 0)$ 사이의 거리로 식 (2)와 같이 주어진다. 따라서, NLUT 방식에서는 물체의 깊이 방향에 대한 요소 프린지 패턴만을 계산하여 저장하게 되고, 물체의 한 깊이 방향이 결정되면 그 면에 존재하는 물체 포인트들의 요소 프린지 패턴들은 사전에 저장된 그 깊이의 요소 프린지 패턴을 각 물체 포인트까지 이동시켜 프린지 패턴을 계산하여 그 깊이 평면에서의 홀로그램 패턴을 계산하게 된다. 같은 방법으로 모든 물체 깊이 평면에서 각각의 홀로그램을 계산하여 합산함으로써 물체 전체에 대한 홀로그램 패턴을 계산하게 된다.

그림 2는 NLUT 를 이용한 디지털 홀로그램의 생성 절차를 나타낸다. 즉, 그림 2(a)는 특정 깊이 평면에 존재하는 물체영상 포인트로써 두 개의 점광원으로 이루어져 있다고 가정하고 그림 2(b)는 NLUT 방법으로 각 포인트에 대한 프린지 패턴을 합성하는 개념을 나타낸다. 즉, 그림에서 2상한에 존재하는 점광원(Point 1)은 기준점 (0, 0)을 중심으로 $(-x_p, -y_p)$ 의 위치하기 때문에 이미 계산되어 저장된 그 깊이 평면에서의 요소 프린지 패턴을 x, y 방향으로 $-x_p$ 와 y_p 만큼 이동시킨다. 또한, 그림에서 4상한안에 존재하는 점광원(Point 2)은 $(x_p, -y_p)$ 에 위치하기 때문에 x, y 방향으로 x_p 와 $-y_p$ 만큼 이동시킨다. 이러한 절차를 모든 물체 포인트에 대하여 수행한 후, 모든 요소 프린지 패턴을 중첩하고 미리 정해진 홀로그램의 크기에 따라 기준점을 중심으로 중첩된 영역을 추출해냄으로써 그림 2(c)와 은 최종적인 홀로그램 패턴을 합성할 수 있게 된다. 따라서, NLUT 방식에서

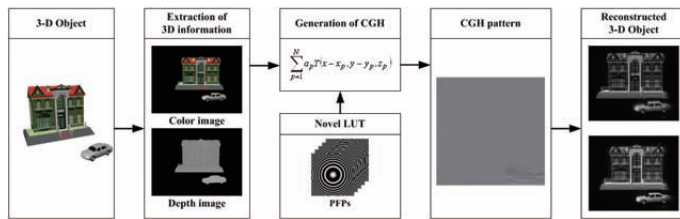


그림 1. N-LUT 기반의 홀로그램 생성 기법

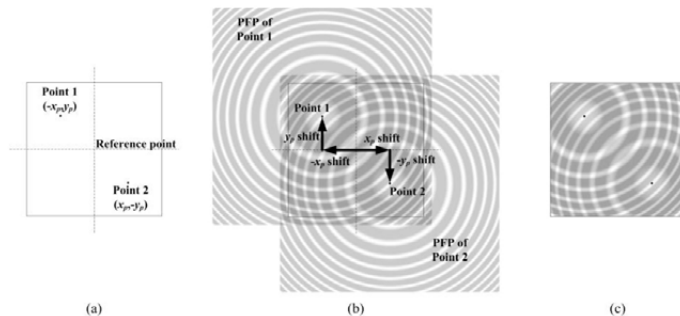


그림 2. N-LUT 기반의 디지털 홀로그램 패턴의 생성과정: (a) 물체영상 포인트, (b) 요소 프린지 패턴의 합성 (c) 합성된 홀로그램 패턴

홀로그램 정보 $I(x, y)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I(x, y) = \sum_{n=1}^N a_n T(x - x_n, y - y_n; z_n) \dots\dots\dots (3)$$

그림 3은 NLUT 기법의 Shift invariance 특성을 나타낸다[3]. 이를 보면 점 $A(0, 0, z_1)$ 에 해당하는 홀로그램을 만들게 되면 PFP₁가 되고 이를 복원하게 되면 복원 평면에서 $A'(0, 0, z_1)$ 의 위치에 점이 복원된다. 이때 PFP₁를 x 축 방향으로 x_1 만큼 이동 시키게 되면 복원되는 점 역시 x 축 방향으로 x_1 만큼 이동하여 점 $A''(x_1, 0, z_1)$ 에 복원되고 같은 방법으로 y 축 방향으로 y_1 만큼 이동하게 되면 복원되는 점 역시 $A'''(0, y_1, z_1)$ 으로 이동하게 된다. 따라서 이러한 방법으로 원하는 위치만큼 PFP를 이동하게 되면 각 점을 표현할 수 있고 이를 물체에 대해 확장시키면 그림 4와 같이 물체의 이동에 대해서도 홀로그램 이동시켜 원하는 홀로그램을 생성할 수 있게 된다.

3. 3차원 동영상의 시간적 중복성 기반의 홀로그램 생성 기술

일반적으로 3차원 동영상의 인접한 프레임 간에는 많은 유사성을 가지고 있다. 즉, 그림 5와 같이 인접한 동영상 프레임들을 보면 집과 같이 변하지 않는 부분과 자동차처럼 변하는 부분으로 이루어진다. 따라서 이러한 특성을 고려하여 프레임간에 변화가 생긴 부분을 DPCM (Differential Pulse Code Modulation) 기법을 이용하여 추출한 후 변화한 부분에 대해서만 홀로그램 연산을 수행하여 홀로그램의 계산량을 줄여준다. 즉, 그림 6과 같이 3차원 입력 동영상에 대하여 프레임간의 차이를 추출한 후 변화량이 많은 경우에는 일반적인 방법으로 홀로그램을 연산하고, 변화량이 적은 경우에는 이전 프레임의 홀로그램에서 변화량만큼 보상하여 현재 프레임의 홀로그램을 생성하여 홀로그램 생성 속도를 향상한다[4].

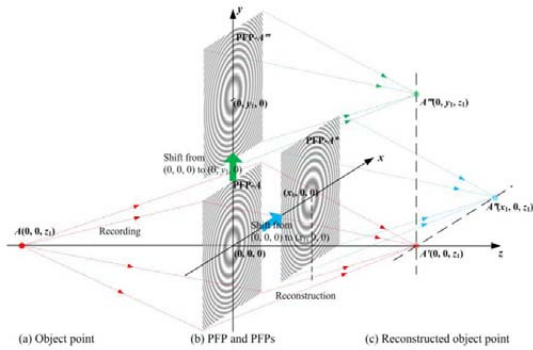


그림 3. NLUT 기법의 포인트에 대한 Shift invariance 특성

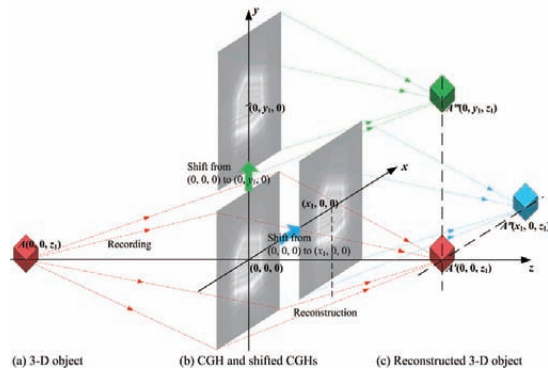


그림 4. NLUT 기법의 물체에 대한 Shift invariance 특성

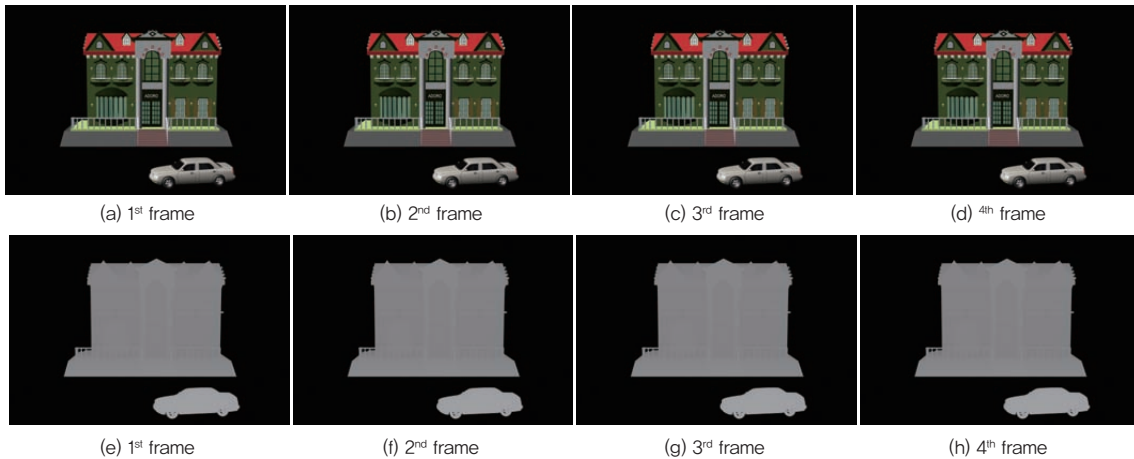


그림 5. 3차원 동영상의 인접한 네 영상

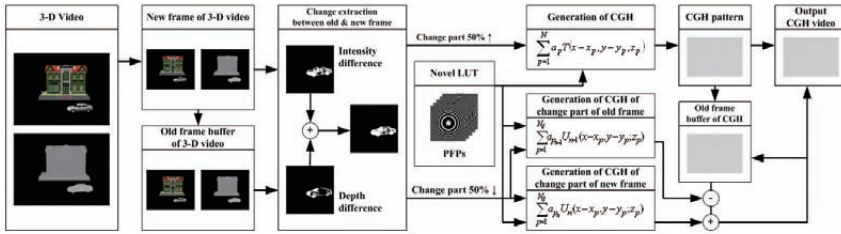
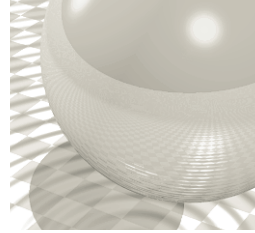


그림 6. 3차원 동영상의 시간적 중복성 기반의 홀로그램 고속 생성 기법

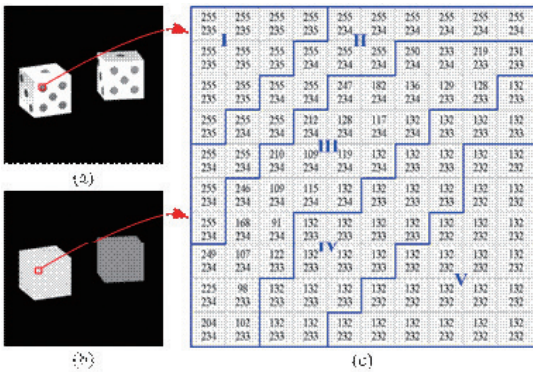


그림 7. 3차원 영상의 밝기값 및 깊이값 (a) 밝기 영상 (b) 깊이 영상 (c) 추출된 부분의 밝기값 및 깊이값

4. 3차원 영상의 공간적 중복성 기반의 홀로그램 생성 기술

일반적으로 3차원 영상의 인접한 픽셀들간에는 같은 값을 갖거나 유사한 값을 갖게 된다. 그림 7은 두 개의 주사위로 이루어진 3차원 영상을 나타내고 그림 7(c)는 그 일부를 확대한 영상이다. 이를 보면 5가지의 영역으로 나뉘는 것을 볼 수 있고 영역 I, II, IV, V의 경우 같은 밝기 및 깊이 값을 갖고 영역 III의 경우 다양한 밝기 및 깊이값을 갖는 것을 볼 수 있다. 따라서 영역 III을 제외한 다른 영역의 경우 그룹화를 통하여 연산량을 줄여 줄 수 있게 된다 즉, 기존의 NLUT 기법에서 인접한 픽셀의 값을 표현하기 위하여 요소 프린지 패턴을 이동시켜 표현을 한다. 따라서 이러한 특성을 고려하여 수직 또는 수평으로 인접한 픽셀들을 RLE(Run Length Encoding) 기법을 이용하여 그룹화 하여 한번에 홀로그램 연산을 수행하여 홀로그램의 계산량을 줄여준다. 즉, 그림 8과 같이 3차원 입

력 영상에 대하여 인접한 픽셀들 값을 비교하여 인접한 같은 값을 갖는 픽셀들을 그룹화 하고, NLUT 기법의 이동 특성을 이용하여 생성한 N-point PFP를 이용하여 한번에 여러 포인트를 연산하게 되어 전체 연산량을 줄여주게 된다[5]. 그리고 이는 2차원적인 블록의 형태의 확장을 통한 그룹화로 연산량을 더욱 줄일 수도 있다[6].

5. 움직임 추정 및 보상 기반 홀로그램 생성 기술

움직임 추정/보상(Motion estimation/compensation)은 기존의 2차원 동영상의 압축을 위한 알고리즘으로 널리 사용되고 있다. 즉, 움직임 보상은 이전 프레임에서 현재 프레임으로의 변화를 의미하는데, 영상 데이터의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 움직임 정보를 추출하여 데이터의 압축 및 복원에 활용한다. 기존의 NLUT 기반의 홀로그램 생성 방식은 각 깊이에 해당하는 PFP를 이동시켜 해당 깊이의 모든 점들을 표현한다. 즉, PFP를 이용해 생

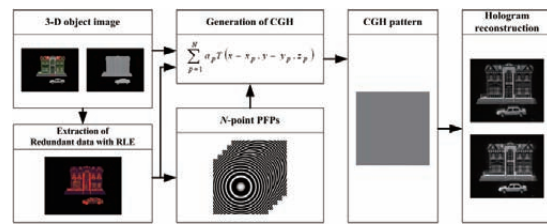


그림 8. 3차원 영상의 공간적 중복성 기반의 홀로그램 고속 생성 기법

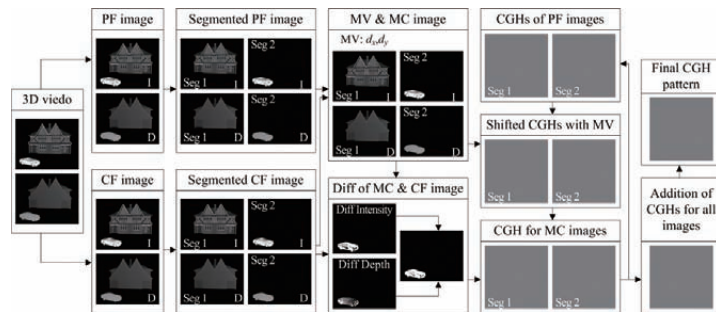


그림 9. 움직임 추정 및 보상 기반의 홀로그램 생성 기법

록업테이블 및 3차원 영상의 중복성 기반의 홀로그램 생성 기술

성된 홀로그램 패턴을 수직/수평 방향으로 이동 시키고 이를 복원하면 복원된 영상이 홀로그램 패턴의 이동량만큼 이동하게 된다. 따라서 앞에서 언급한 움직임 추정/보상 기법을 이용하여 3차원 동영상의 모션벡터를 구하고 이를 이용하여 이전 프레임에 대해 홀로그램 패턴을 이동한 후 차이만큼을 보상하게 되면 다음 프레임의 홀로그램을 생성할 수 있게 된다. 즉 그림 9와 같이 3차원 동영상에 대하여 각 프레임의 물체들을 분할 하고 이전 프레임과 현재 프레임의 각 물체에 대한 모션벡터를 추출하게 된다. 그리고 추출된 모션벡터에 따라 이전 프레임의 각 물체에 대한 홀로그램을 이동 시키고 보상된 이전 프레임 영상과 현재 프레임 영상간의 차이를 보정하여 현재 프레임에 해당하는 홀로그램을 생성하게 된다[3].

6. 결론

본 고에서는 록업테이블과 3차원 영상의 중복성 정보를 이용하여 홀로그램을 효과적으로 생성하는 연구를 개괄했다. 기존의 록업 테이블을 이용하여 홀로그램을 생성하는 기법은 홀로그램의 생성 속도를 향상 시켰지만 광대한 메모리를 필요로 하는 문제가 있었다. 또한 3차원 영상의 모든 포인트에 대하여 홀로그램을 생성하여야 하기 때문에 높은 해상도의 3차원 동영상에 대해서는 선형적으로 계산 시간이 증가하는 문제가 있었다. 하지만 새로운 록업테이블(NLUT) 기법을 통하여 홀로그램의 생성 속도는 유지하면서 필요로 하는 메모리를 감소시킬 수 있고 3차원 영상의 중복성 정보를 다양한 압축 기법을 적용하여 홀로그램 연산량을 줄여줌으로써 전체적인 홀로그램의 생성 속도가 향상된 것을 볼 수 있다. 향후 이러한 록업테이블 기반의 홀로그램 생성 기술은 홀로그램 TV를 비롯한 다양한 홀로그램 응용 기술의 핵심 기술로서 향후 홀로그램의 생성 속도를 향상시킬 수 있는 추적인 연구가 활발히 진행될 것으로 기대한다.

감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2013-067321).

참고문헌

- [1] M. Lucente, "Interactive computation of holograms using a look-up table," J. Electron. Imag. 2, 28-34 (1993).
- [2] S.-C. Kim and E.-S. Kim, "Effective generation of digital holograms of 3D objects using a novel lookup table method," Appl. Opt. 47, D55-D62 (2008).
- [3] S.-C. Kim, X.-B. Dong, M.-W. Kwon and E.-S. Kim, "Fast generation of video holograms of three-dimensional moving objects using a motion compensation-based novel look-up table," Opt. Express 21, 11568-11584 (2013).
- [4] 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. 47, 5986-5995 (2009).
- [5] 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. 48, 1030-1041 (2009).
- [6] S.-C. Kim, K.-D. Na and E.-S. Kim, "Accelerated computation of computer-generated holograms of a 3-D object with N×N-point principle fringe patterns in the novel look-up table method," Opt. Laser Eng. 51, 185-196 (2013).

약 력



김승철

- 2007년 3월 - 현재
광운대학교 홀로디지털 휴먼미디어 연구센터 연구교수
- 2004년 3월 - 2007년 2월
광운대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 3월 - 2004년 2월
광운대학교 전자공학과 공학석사
- 1995년 3월 - 2002년 2월
광운대학교 전자공학과 공학사



김은수

- 2011년 9월 - 현재
광운대학교 홀로디지털 휴먼미디어 연구센터 센터장
- 2003년 9월 - 2011년 12월
광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터 센터장
- 1981년 3월 - 현재
광운대학교 전자공학과 교수
- 1987년 2월 - 1988년 8월
California Instituted Technology, 전자공학과 객원 교수
- 1980년 3월 - 1984년 2월
연세대학교 전자공학과 공학박사
- 1978년 3월 - 1980년 2월
연세대학교 전자공학과 공학석사
- 1974년 3월 - 1978년 2월
연세대학교 전자공학과 공학사