Journal of Digital Contents Society Vol. 13 No. 3 Sep. 2012(pp. 271-278)
http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2012.13.3.271

적외선 방출 조명 조건 하에서 깊이 센서의 효율적인 필터링

박태정*

요 약

적외선 기반 깊이 센서는 최근 저렴해진 가격으로 인해 소비자용으로 널리 보급되고 있으며 원래 목적을 넘어서 방송용 가상 스튜디오 제스처 인식을 포함한 다양한 분야로까지 적용 범위를 확대하고 있다. 그러나 이러한 방송 스튜디오 환경에서는 깊이 센서와 간섭을 일으키는 적외선이 다량 방출되어 올바른 깊이 정보의 포착이 불가능한 문제가 발생한다. 본 논문에서는 특정 적외선 파장대를 사용하는 깊이 센서가 적외선 방출 광원 하에서 간섭이 발생하는 원리에 대해 분석하고 깊이 센서의 올바른 작동을 보장하기 위한 필터링 기법을 논의한다. 또한 여러 차단 주파수대를 가지는 통과 필터를 적용하는 실험 방법과 그 결과를 제시하며 올바른 대역 통과 필터를 적용함으로써 조명에서 방출되는 적외선을 차단하고 효과적으로 깊이 정보를 포착할 수 있다는 사실을 실험적으로 증명한다.

Efficient Filtering for Depth Sensors under Infrared Light Emitting Sources

Taejung Park*

Abstract

Recently, infrared (IR)-based depth sensors have proliferated as consumer electronics thanks to decreased price, which led to various applications including gesture recognition in television virtual studios. However, the depth sensors fail to capture depth information correctly under strong light conditions emitting infrared light which are very common in television studios. This paper analyzes the mechanism of such interference between the depth sensors relying on certain IR frequencies and infrared light emitting sources, and provides methods to get correct depth information by applying filters. Also, it describes experiment methods and presents the results of applying multiple combinations of filters with different cut-off frequencies. Finally, it proves that the interference due to IR can be filtered out using proposed filtering method practically by experiment.

Keywords : depth information sensors, Kinect, infrared, K-Motion, filtering

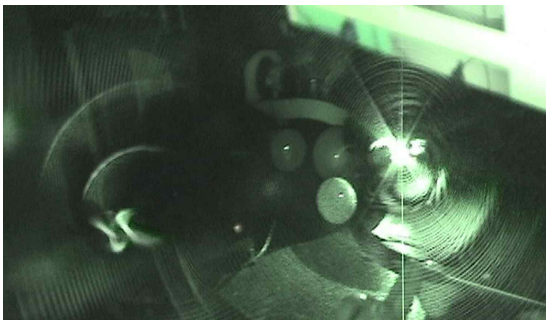
1. 서론

최근 저렴한 소비자용 깊이 센서의 등장으로 게임과 가전 분야에서 깊이 센서 응용의 폭이 넓어 졌다. 특히 Microsoft의 Kinect는 게임 콘솔에서 신체 전반을 활용해서 게임을 조작할 수 있는 컨트롤러로서 널리 보급되고 있다. Kinect 및 이와 유사한 제품(예를 들어 ASUS의 Xtion)의 응용 분야는 게임뿐만 아니라 아바타 채팅을 위한 얼굴 표정 인식[1], 장애우를 위한 로봇[2] 적용 등 다양한 분야에 활용되고 있으며 최근에는 국내 방송사를 통해 개표 방송에서 가상 스튜디오 공간에서 정보 그래픽 요소를 진행자가 직접 검색, 선택할 수 있는 용도로 활용되기도 했다(K-Motion [3]).

그러나 이러한 깊이 센서는 적외선 점 패턴(speckles)을 투사한 후 깊이 정보에 다른 점 패턴의 차이를 센서로 인식함으로써 깊이를 측정하는 방식이기 때문에 외부 조명에 비슷한 파장대의 적외선 성분이 포함되어 있다면 간섭이 발생해서 올바른 깊이 값을 포착하지 못한다는 사실을 발견했다.

※ 제일저자(First Author): 박태정
접수일:2012년 05월 04일, 수정일:2012년 06월 04일
완료일:2012년 09월 20일
* 연세대학교 BK 연구교수
taejung.park@gmail.com

(그림 1) Kinect에서 방출된 near IR 점 패턴의 투사 모습
(비디오 카메라 나이트 모드로 설정 후 촬영)



(그림 2) Kinect IR 출력부에서 방출되는 IR
(비디오 카메라 나이트 모드로 설정 후 촬영)

특히 방송 현장에서 인물의 화사한 색감 표현을 위해서 널리 사용되는 할로겐 조명이나 가정용 할로겐 및 백열등에서 이러한 깊이 센서에서 사용하는 적외선과 유사한 파장대의 적외선이 방출되어 간섭이 발생한다.

그러나 이러한 깊이 센서 제품과 외부 조명으로 인한 간섭에 대한 정보는 거의 알려져 있지 않다.

본 논문에서는 특정 주파수 대역을 감쇄시킬 수 있는 필터들을 이용해서 Kinect에서 사용되는 적외선의 주파수대를 확인하고 할로겐이나 백열등 하에서 간섭 없이 효율적으로 깊이 정보를 포착할 수 있는 방법을 논의한다.

1.1 연구의 배경

Kinect[4]는 Microsoft에서 게임 콘솔인 XBOX에서 기존 컨트롤러 없이 사람의 동작 인식만으로 게임을 진행할 수 있도록 출시했으며 PrimeSense사[5]의 기술에 기반한 제품이다.

(그림 3) KBS에서 실제 선거 방송에 적용한 K-Motion 시스템

Kinect는 일반적인 RGB 비디오를 촬영할 수 있는 비디오 카메라, 적외선 패턴 투사부, 적외선 패턴 감지부와 방향성 음성 인식이 가능한 배열 마이크, 카메라 위치 조정이 가능한 모터 및 자이로 센서 등이 내장된다.

Kinect가 깊이를 인식하는 원리는 (그림 1, 2)에서 제시한 것처럼 근적외선 파장(830nm 근방) 점 패턴(speckles)을 공간에 투사한 후 이 정보를 다시 적외선 센서를 통해 감지하고 분석함으로써 깊이를 인식한다.

그러나 가정에서 사용하는 할로겐 램프나 백열등에서는 Kinect가 사용하는 적외선 파장과 간섭을 일으키는 적외선 성분이 방출되기 때문에 Kinect의 올바른 동작이 보장되지 않는다.

특히 최근 KBS에서는 선거 개표 방송의 진행을 위한 가상 스튜디오 구성에서 진행자가 실시간으로 직접 화면 상의 그래픽 요소들을 동작을 통해 조작하는 모습을 선보였는데 이 때에도 Kinect 및 기타 적외선 기반 깊이 센서가 적용되었다(그림 3).

이 때 방송 스튜디오에서는 강한 할로겐 조명이 사용되었기 때문에 적외선 센서와의 간섭이 심하게 발생되어 적절한 필터링이 필요했다. 그러나 이 당시 적외선 패턴에 대한 분석과 필터링 관련 정보 부족으로 인해 여러 어려움들이 발생한 바 있다.

본 논문은 근본적인 조명 간섭 실험을 바탕으로 이러한 간섭 문제를 해결하기 위한 기본 자

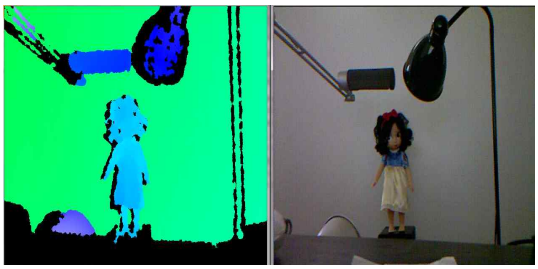
료 제공을 목표로 한다.

2 본론

2.1 실험 목표

본 논문에서 제시하는 실험의 목표는 강한 조명이 적용되는 스튜디오 환경과 유사한 실험 환경을 구축하고 다양한 조명 조건 하에서 Kinect 깊이 정보 센서와 조명의 간섭을 확인하며 가장 적합한 필터링 조건을 조사하는 것이다.

2.2 실험 구성



(그림 4) IR 조명이 없는 상태에서의 깊이 정보(왼쪽), IR 조명이 없는 상태에서의 RGB 이미지(오른쪽)

(그림 4)에서는 실험 구성 환경을 볼 수 있다(오른쪽). 배경에는 프로젝터용 흰색 스크린을 배치하고 전면에 Kinect를 설치해서 전방의 인형의 깊이 정보(왼쪽)와 RGB 이미지(오른쪽)를 캡처한다. (그림 4)는 LED 조명이 우세한 컴퓨터 모니터 앞에서 촬영한 것이며 적외선 성분은 배제된 상황에서 촬영했다.

적외선 방출 조명을 포함한 몇 가지 조명 영향 테스트를 위해 피사체 하단에 조명 기구 1개, 피사체 상단 좌우에 각각 2개 씩 총 3개의 조명을 설치했다. 방송 스튜디오에서의 강한 조명 조건과 가깝게 구성하기 위해 조명과 피사체의 거리는 약 30-50 cm 정도로 배치한다.

(그림 5) 실험에 사용한 광원 램프

이 실험에는 일반적으로 가정에서 널리 사용되는 총 4가지 유형의 광원이 사용되었다. (그림 5)에 제시된 것처럼 왼쪽부터 3파장 흰색 형광등, 3파장 노란색 형광등, 적외선을 방출한다고 알려진 일반 백열전구, 노란색 LED 조명 등으로 구성되었다. 특히 3파장 형광등은 색상으로 인한 간섭 차이를 알아보기 위해서 백열등과 유사한 노란색을 적용했으며 LED 역시 이러한 목적으로 노란색을 준비했다.

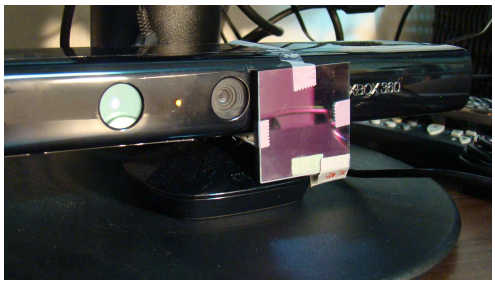
<표 1> 광원 사양

광원	파워	색상
백열등	60 W	노란색
삼파장 형광등	14 W	흰색
삼파장 형광등	11 W	노란색
LED 램프	8 W	노란색

방송 현장에서는 할로겐 램프를 사용하지만 본 실험에서는 이와 유사하게 적외선 파장을 방출하는 것으로 알려진 백열등을 사용한다.

또한 적외선 조명과의 간섭 파장대를 제거하기 위해 Kinect의 적외선 센서 앞에 (그림 6)에서 제시한 것처럼 필터를 장착한다. 실험에 사용된 필터는 각각 850nm, 830nm, 800nm 차단(cutoff) 특성을 가지는 저대역 통과(low pass) 필터들과 850nm 근방에서 차단 특성을 가지는 high pass 필터 하나를 단독으로, 또는 조합해서

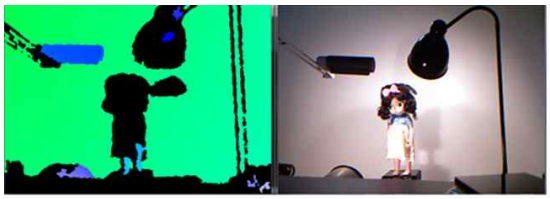
필터링 특성을 관찰했다.



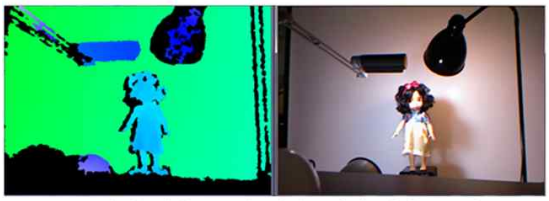
(그림 6) Kinect에 설치한 필터

2.3. 실험 결과

2.3.1. 조명 소스별 간섭



백열등 3개

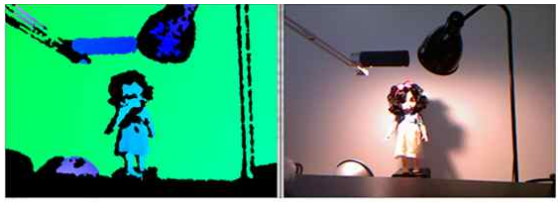


노란색 형광등 1개, 흰색 3파장 형광등 2개

노란색 LED 전구 1개

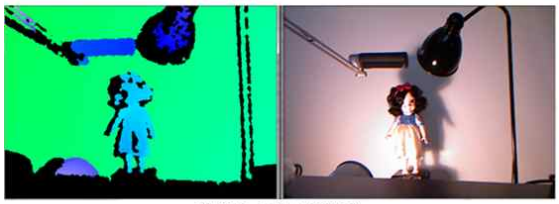
(그림 7) 다양한 광원 하에서의 깊이 정보(왼쪽) 및 RGB 이미지(오른쪽)

실험 결과 3파장 형광등, LED 조명의 경우 색과 조명 개수에 상관없이 깊이 정보가 정상적으로 포착되는 사실이 확인되었으며 백열등의 경우 조명을 집중적으로 받은 부위의 깊이 정보가 손실되는 것으로 나타났다. 즉, 백열등 전구



백열등 1개 (왼쪽)

백열등 1개 (오른쪽)



백열등 1개 (아래쪽)

(그림 8) 적외선 방출 조명의 위치 변화에 따른 다양한 깊이 정보(왼쪽), RGB 이미지(오른쪽) 결과

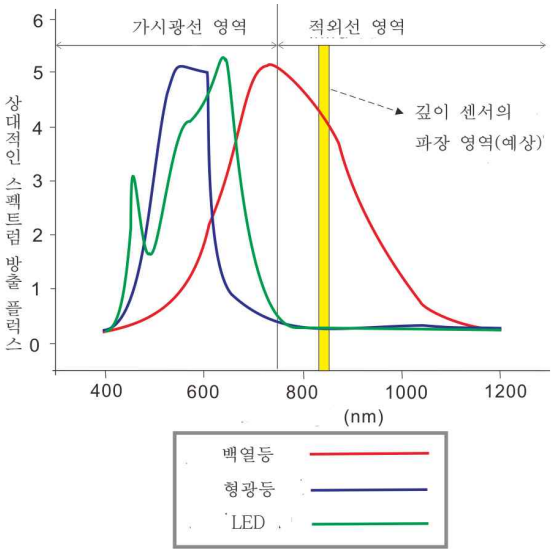
3개를 적용한 (그림 7)의 상단 왼쪽에 제시한 깊이 정보의 경우, 조명을 받은 피사체가 깊이 정보가 소실되어 검은색으로 표시되었다. 이에 비해서 3파장 형광등, LED는 색상에 상관없이 모두 적외선 패턴과의 간섭이 없어서 깊이 정보가 손실 없이 캡처된다는 사실(하늘색)을 확인할 수 있다.

2.3.2 백열등 위치에 따른 간섭 효과

(그림 8)에서는 백열등 위치에 따른 간섭 효과를 제시한다. 그림에서 볼 수 있듯이 이 실험에서는 하단 조명의 간섭 효과보다도 하단 조명의 간섭 효과가 분명하게 드러난다. (그림 3)과 같은 가상 스튜디오 애플리케이션에서는 주로 팔동작을 이용하기 때문에 머리, 어깨, 손 등의 깊이 정보가 중요하다. 따라서 상단 조명으로 인한 깊이 정보 손실의 영향이 이러한 애플리케이션에서 더 치명적이라고 할 수 있다.

2.3.3 각 조명의 파장 특성

(그림 9)에서는 실험에 사용한 각 광원의 파장 방출 특성을 제시한다. 이 그림에서 볼 수 있



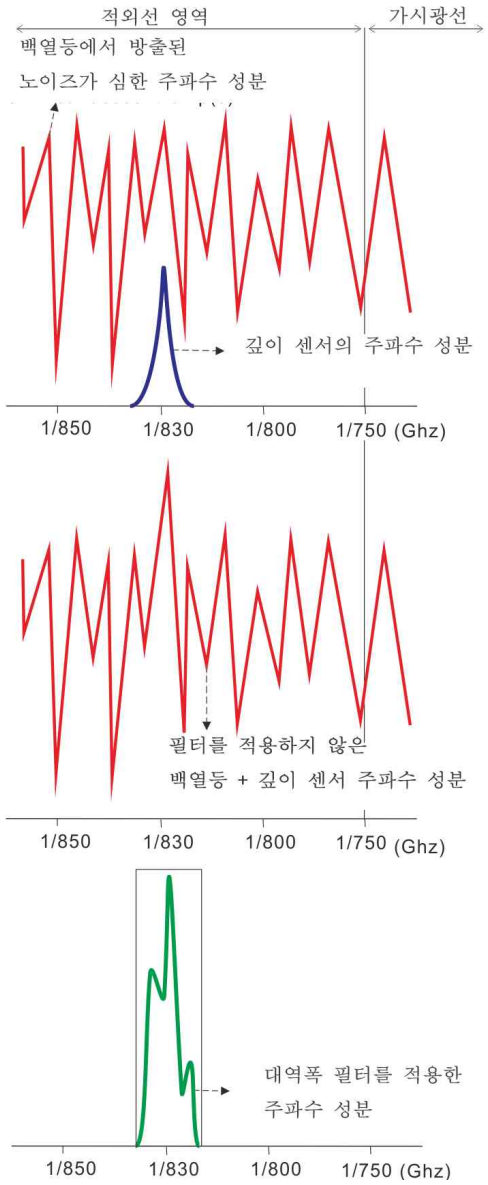
(그림 9) 세 가지 광원에서 방출되는 파장 특성

듯이 빨간색으로 표시된 백열등 방출 파장대는 가시 광선 영역부터 시작해서 적외선 영역으로 갈수록 점차 증가하다가 1000nm(1μm)에서 최대값을 보인 후 감소하는 양상을 보인다. 따라서 앞서 살펴 본 깊이 정보의 손실은 Kinect가 사용하는 830nm 영역 주변으로 비슷한 파장대의 적외선 간섭이 심하게 발생하기 때문에 발생하는 것으로 결론을 내릴 수 있다.

이에 비해서 형광등(파란색)과 LED 광원(녹색)의 경우 Kinect가 사용하는 830nm 파장대 주변으로는 거의 방출하는 성분이 없다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 이론적으로 Kinect 깊이 센서와 형광등, LED 조명은 파장대가 겹치지 않기 때문에 아무리 빛의 강도를 강하게 하더라도 간섭이 거의 발생하지 않는다고 볼 수 있다. 이러한 결론은 앞서 살펴 본 실험 결과와도 일치한다(그림 7).

2.3.4 필터 조합

앞서 실험 결과에서 살펴 본대로, 백열등과 같이 적외선이 방출되는 조명이 피사체에 집중적으로 투사될 때 깊이 정보가 대부분 손실되었다. 이 제품의 사용이 의도된 일반 가정 환경에서는 백열등이나 할로겐 등을 사용한다고 하더라도 피사체(이 경우는 게임 플레이어나 기타 깊이 기반 센서 애플리케이션 사용자)에 조명이 집중



(그림 10) 필터링 개요. 필터를 적용하지 않을 때 발생하는 노이즈가 섞인 신호(중간), 필터를 거친 신호 성분(아래)

되는 경우는 거의 없고 (그림 8)에서처럼 투사되는 일부에서만 깊이 정보가 사라지지만 깊이 정보의 일부만 사라진 경우는 골격(skeleton) 정보를 복원하는데 무리가 없기 때문에 큰 문제가 아닐 수도 있다.

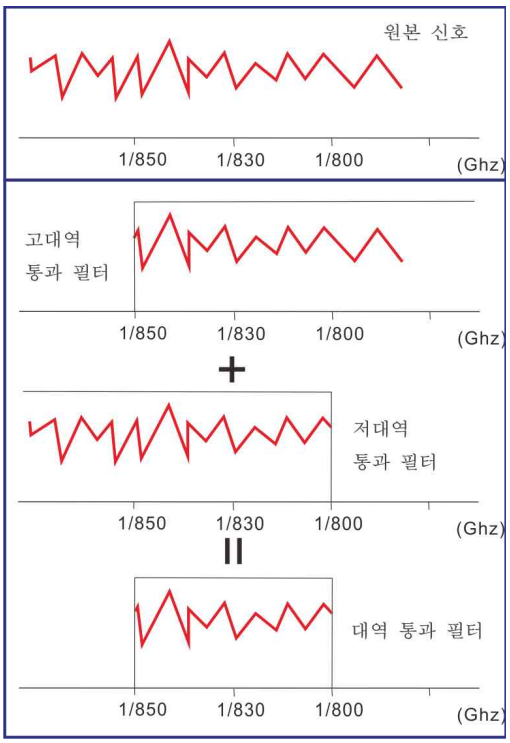
그러나 방송용 가상 스튜디오의 경우 방송용 할로겐 조명이 집중적으로 진행자에게 투사되기

때문에 (그림 3)와 같은 애플리케이션을 구현하려고 할 경우, 적절한 조처가 필요하다.

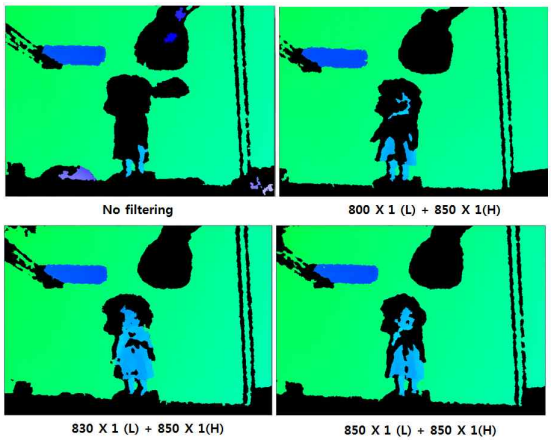
실제로 (그림 3)에서 설명한 실시간 방송 환경에서도 본 논문에서 제안하는 것과 유사한 필터를 적용했으며, 본 논문에서는 다양한 특성을 가진 필터를 적용해서 적외선 간섭을 줄이는 방안을 실험을 통해 살펴본다.

Kinect와 백열등(또는 할로겐 조명)의 파장대 중복 문제를 해결하는 방안 중 하나는 Kinect가 사용하는 주파수대를 밴드패스(band-pass) 필터링으로 통과 시키고 주변의 파장대는 간섭을 제거하기 위해 걸러내는 방식을 생각할 수 있다.

(그림 10)은 본 논문에서 적용할 대역폭 통과(band-pass) 필터링의 이상적인 원리를 대략적으로 제시한다. (그림 10)의 가장 위쪽 부분 그림에서 빨간색 선은 백열등의 열전자 생성으로 인한 잡음이 존재하는 백열등의 주파수 성분을 의미하고 파란색 선은 Kinect에서 투사한 적외선 패턴의 주파수 성분을 나타낸다. 이 때 필터링을 적용하지 않으면(중간 그림) Kinect에서 투



(그림 11) 고대역 필터와 저대역 필터를 결합한 대역 필터의 원리



(그림 12) 대역 통과 필터링 결과

사한 적외선 패턴이 백열등 주파수 성분에 파묻혀 전체적으로 Kinect의 적외선 입력 센서에 의미있는 신호를 찾기 힘들다.

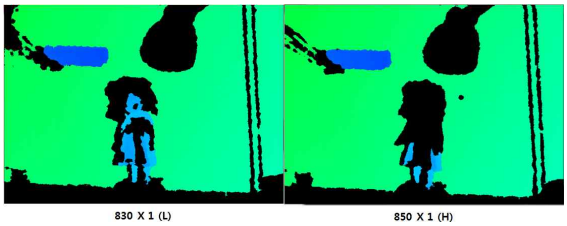
이 문제를 해결하기 위해서 Kinect가 사용하는 1/830 GHz(즉, 830nm의 역수) 주변의 성분만 통과 시키고 나머지는 감쇄시키는 대역 통과 필터를 적용하면(아래 그림) Kinect 신호가 간섭받지 않을 때만큼 깨끗하지는 않지만 간섭 받지 않고 충분히 감지할 수 있는 신호를 얻을 수 있다.

그러나 Kinect의 주파수 대역에 대한 정보를 완전하게 파악하기 쉽지 않고 동시에 완벽하게 최적화된 필터를 찾기가 쉽지 않기 때문에 본 논문에서는 830nm 근방의 저대역 통과(low-pass) 필터와 고대역 통과(high-pass) 필터를 조합해서 대역폭 통과 필터 및 기타 필터 조합을 구성하여 실험을 실시한다.

a. 대역 통과 필터 (low-pass + high-pass)

필터 적용 시 Kinect의 주파수 대역에 대한 정보를 완전하게 파악하기 쉽지 않고 동시에 완벽하게 최적화된 필터를 찾기가 쉽지 않기 때문에 본 논문에서는 830nm 근방의 저대역 통과(low-pass) 필터와 고대역 통과(high-pass) 필터를 조합해서 대역 통과 필터 및 기타 필터 조합을 구성하여 실험을 실시한다(그림 11).

(그림 12)에서는 저대역 통과 필터(L) 1장과 고대역 통과 필터(H) 1장으로 구성한 대역 통과



(그림 13) 저대역 통과 필터링 결과(왼쪽), 고대역 통과 필터링 결과(오른쪽)

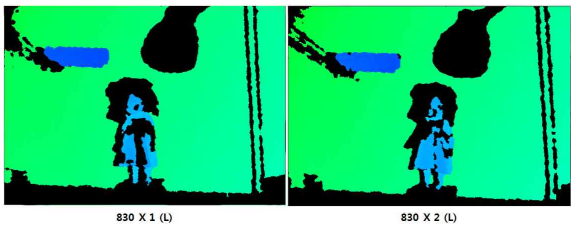
필터 실험 결과를 제시한다. 이 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 830(L) + 850(H) 조합에서 가장 좋은 결과를 얻었다. 이 필터 조합에서도 머리 부분에서는 상당 부분 깊이 정보가 손실되었으나 손, 팔, 어깨 부분에 해당되는 깊이 정보는 양호한 상태로 얻을 수 있었다.

b. 고대역/저대역 통과 필터 단일 적용

(그림 13)에서는 대역 통과 필터 구성 후 적용 시와의 비교를 위해 고대역 필터와 저대역 필터를 각각 적용한 대표적인 사례를 제시한다. 이 그림을 통해서 저대역 통과 필터 적용 결과(왼쪽)가 고대역 통과 필터의 결과(오른쪽)보다 우수하다는 사실을 확인할 수 있으나 (그림 12)에서 제시한 결과(830(L) + 850(H) 조합)에 비해서는 불량한 결과를 얻었다.

c. 같은 종류의 필터를 여러 장 쓸 경우

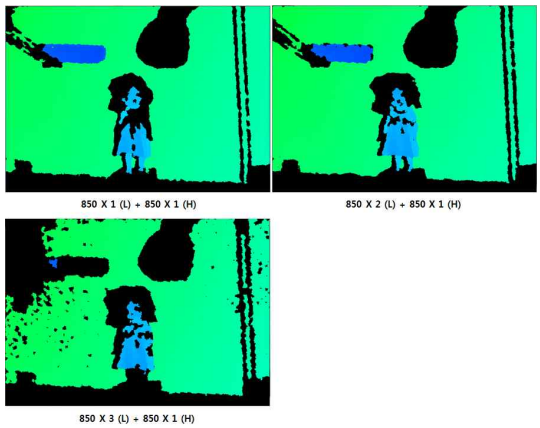
동일한 광학 특성을 가지는 필터를 여러 장 사용하면 통과 대역으로 통과되는 신호는 줄어드는 단점이 있으나 동시에 차단 대역은 차단 효율이 더 높아지는 특성을 활용할 수 있다. 이러한 특성을 확인하기 위해 여러 조합을 테스트했으며 (그림 14)를 통해 대표적인 경향을 소개한다. (그림 14)에서는 저대역 통과 필터 적용



(그림 14) 동일한 특성을 가지는 필터를 여러 개 썼을 경우의 깊이 정보 비교. 왼쪽은 저대역 필터 1개, 오른쪽은 저대역 필터 2개를 적용한 결과.

시 가장 우수한 특성을 보였던 830nm 저대역 통과 필터를 1장 사용했을 때와 2장 사용했을 때의 결과를 정리했다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 2장을 사용했을 때 몸 부분에서 적외선 차단 효과가 좀 더 향상되는 사실을 확인할 수 있었다. 그러나 같은 필터를 여러 장을 겹쳐서 적용할 때 항상 좋은 결과를 얻은 것은 아니며 주파수 대역에 따라 종종 필터를 겹칠 때마다 깊이 정보에서 상당한 열화가 발생하는 경우도 있었다. (그림 15)가 그러한 한 예이며 이 그림에서는 850 nm 저대역 통과 필터와 850 nm 고대역 통과 필터를 적용하고 저대역 통과 필터를 1, 2, 3장 씩 각각 적용한 결과를 제시한다. 이 경우 저대역 통과 필터와 고대역 통과 필터의 차단 주파수(cut-off frequency)가 동일하지만 실제 필터에는 어느 정도 오차와 전환 영역(transfer region)이 존재하기 때문에 실제로는 매우 좁은 대역 통과 필터가 구성된다.

이 그림에서 볼 수 있듯이 저대역 통과 필터를 3장 적용하면 깊이 정보가 올바르게 포착되었던 영역까지도 정보 열화가 발생한다는 사실을 확인할 수 있다.



(그림 15) 여러 개의 저대역 통과 필터를 썼을 경우 깊이 정보 손실 발생 결과

3. 결론

본 논문에서는 830nm 파장대의 근적외선을 이용해서 깊이 정보를 추출하는 깊이 센서를 적외선이 다량 방출되는 조명을 주로 사용하는 가

상 스튜디오 환경에서 적용할 때 깊이 정보가 소실되는 원인을 분석하고 그 해결 방안으로 주변 간섭 신호를 차단할 수 있는 필터의 적용 방안을 실험을 통해 확인했다.

본 논문에서는 차단 주파수 1/800, 1/830, 1/850 GHz의 저대역 통과 필터와 1/850 GHz 고대역 통과 필터를 조합해서 실험을 수행했다. 현실적인 여건 상 Kinect의 주파수대에 정확하게 일치하는 필터를 사용하지 못했음에도 불구하고 상당히 고무적인 결과를 얻었으며 특히 실험 전반에 걸쳐 830(L) + 850(H) 조합에서 가장 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 같은 주파수 특성을 가지는 필터를 여러 장 이용할 경우, 차단 효과가 더 우수해지는 성질을 고려해서 잘 설계한다면 한 층 더 좋은 결과를 얻을 수 있다고 예상한다. 본 논문의 실험 결과는 적외선이 다량 방출되는 조명 환경 하에서 적외선 기반 깊이 센서를 적용하는 분야에서 필터링을 위한 기초적인 자료로 활용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

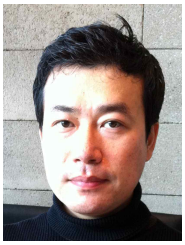
[1] Thibaut Weise, Sofien Bouaziz, Hao Li, and Mark Pauly, “Realtime performance-based facial animation“, ACM Trans. Graph. 30, 4, Article 77, 10 pages. 2011.

[2] Kinect grocery cart that follows disabled shoppers, http://www.youtube.com/watch?v=8vcacRA7O5g

[3] K-Motion from KBS, http://www.youtube.com/watch?v=Z_RVY9BAd30

[4] Kinect official website, http://www.xbox.com/ko-KR/kinect

[5] PrimeSense website, http://www.primesense.com/#4



박 태 정

1997년 : 서울대 전기공학부(학사)
1999년 : 서울대 전기공학부 대학원 (공학 석사, 반도체 전공)
2006년 : 서울대 전기컴퓨터공학부 대학원 (공학박사, 컴퓨터 그래픽스 전공)
2006년～2012년: 고려대학교 연구교수
2012년～현 재: 연세대학교 BK 연구교수
관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 병렬처리, 게임 물리, 수치해석, 3차원 모델링