
멀티스펙트럼 영상 획득 시스템 구현

Implementation of Multispectral Imaging System

진윤종, Yoonjong Jin*, 이문현, Moon-Hyun Lee, 노성규, Sungkyu Noh, 박종일, Jong-Il Park

요약 본 논문에서는 RGB 카메라와 LED 광원만을 이용하여 객체에 대한 반사 스펙트럼을 효율적으로 측정하는 영상 획득 시스템을 제안한다. 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템은 LED 컨트롤러, LED 클러스터, RGB 카메라로 구성되고 전역 스펙트럼(full spectrum)의 영상을 실시간으로 획득하는 시스템이다. 제안된 시스템은 스펙트럼 기저 함수들의 선형 결합으로 전역 스펙트럼을 재구성하여 비교적 간단하면서도 높은 정확도를 보장해준다. 본 시스템의 효용성을 증명하기 위해 다양한 장면(scene)에 대한 반사 스펙트럼을 측정하고 이를 이용하여 여러 광원을 적용한 재조명 결과를 보여준다.

Abstract This paper proposes an image system that can efficiently measure the spectral reflectance of a scene using RGB cameras and LED light sources. Multispectral imaging system is composed of LED controllers, LED clusters and RGB cameras. It captures full-spectral images at real-time. The system adopts a simple, empirical linear model to estimate the full spectral reflectance at each pixel. Since the model is linear, the reconstruction is efficient and stable. We estimated the spectral reflectance of various scenes using the system and showed the effectiveness of the proposed system.

핵심어: *multispectral imaging system, image acquisition, color processing, image-based relighting, multispectral illumination*

1. 서론

최근 컴퓨터 하드웨어 및 그래픽스 기술의 급속한 발전으로 고화질 영상에 대한 수요가 크게 증가되고 있다. 그러나 컴퓨터 비전 및 그래픽스의 컬러 표현 기술은 실제 컬러와 달리 RGB의 단순화된 스펙트럼 가중치 합으로 색을 표현하는 한계를 가지고 있다. 그러므로 RGB 기반의 컬러 기술을 뛰어넘는 새로운 패러다임이 필요하다.

현재 기존의 RGB 세 개의 밴드를 여러 개의 밴드로 확장함으로써 RGB 기술의 한계를 극복하기 위한 시도가 이루어지고 있다. 하지만, 컬러를 보다 실감나게 표현하기 위해 밴드를 확장해야 하는 필요성은 검증되었으나 단순히 밴드 수를 조금 확장한 것으로는 정확성까지 충분히 보장할 수 없다.

본 논문에서는 상용 카메라와 다중(multiplexed)

LED 광원만을 이용하여 영상을 획득/표현하는 시스템을 구현한다. 구현된 시스템은 객체의 스펙트럼을 미리 알고 있는 스펙트럼 기저(basis) 함수들의 선형 결합으로 모델링함으로써, 객체의 반사 스펙트럼을 비교적 간단하면서도 높은 정확도를 가지며 획득/표현할 수 있다[1]. 끝으로 본 시스템을 이용하여 측정된 전역 스펙트럼을 기반으로 한 영상 재조명에 대한 결과를 보여준다.

2. 멀티스펙트럼 영상 재조명

기존의 RGB 기술 한계를 극복하기 위해 단순히 컬러 밴드를 확장하기 보다는 다중 스펙트럼 조명을 이용하여 전역 스펙트럼을 측정 및 표현이 가능한 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템을 제안한다. 먼저 객체에 대한 반사 스펙트럼을 구하기 위해 스펙트럼 기저 벡터의 선형 결합으로 비교적 간단

하며 높은 정확도를 보장하는 방법을 이용하여 전역 스펙트럼을 재구성하는 기술을 설명한다.

일반적으로 영상은 조명 환경, 카메라의 응답 특성, 객체의 반사 스펙트럼의 영향을 받게 된다. 객체의 반사 스펙트럼은 스펙트럼 기저 벡터의 선형 결합으로 모델링한다. 따라서 N개의 조명 환경에서 M개의 채널을 갖는 카메라를 이용하여 획득된 영상 I는 식(1)과 같이 표현된다.

$$I_{mn} = \int c_m(\lambda)r(\lambda)l_n(\lambda)d\lambda. \quad (1)$$

여기서, $l_n(\lambda)$ 은 조명 n의 스펙트럼, $r(\lambda)$ 은 객체의 반사 스펙트럼, $c_m(\lambda)$ 은 컬러 채널 m에 대한 카메라의 스펙트럼 응답 특성이다.

객체의 반사 스펙트럼은 그림 1의 Parkkinen 스펙트럼 기저 함수(spectral basis function) $b_k(\lambda)$ 의 선형 결합으로 식 (2)와 같이 표현할 수 있다[1].

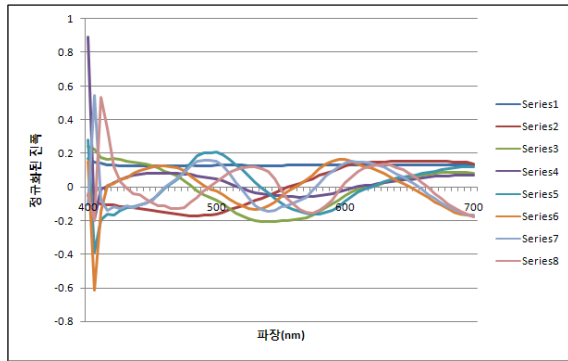


그림 1. 상위 8 개의 Parkkinen 기저 함수[1].

$$r(\lambda) = \sum_{k=1}^{K_s} \sigma_k b_k(\lambda). \quad (2)$$

여기서 σ_k 는 각 기저 함수에 대한 가중치이고 K_s 는 기저 함수의 개수이다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하면 식 (3)과 같은 멀티스펙트럼 영상 획득에 대한 모델을 얻을 수 있다[2].

$$I_{mn} = \sum_{k=1}^{K_s} \sigma_k \int b_k(\lambda)c_m(\lambda)p_n(\lambda)d\lambda. \quad (3)$$

본 논문은 식(3)과 같은 멀티스펙트럼 영상 획득 모델을 얻기 위한 시스템을 제안한다. 그림 2는 LED 클러스터(조

명)와 카메라를 이용하여 멀티스펙트럼 영상을 얻음으로써 객체의 반사 스펙트럼을 구하는 개념도를 보여준다. 그림 2에서와 같이 LED 클러스터는 컨트롤러에서 보내는 조명 순서에 맞게 조명을 발생시키고 카메라는 컨트롤러에서 보내는 동기 신호에 맞춰서 객체를 촬영한다. 이를 통해 멀티스펙트럼 영상 획득이 가능해진다.

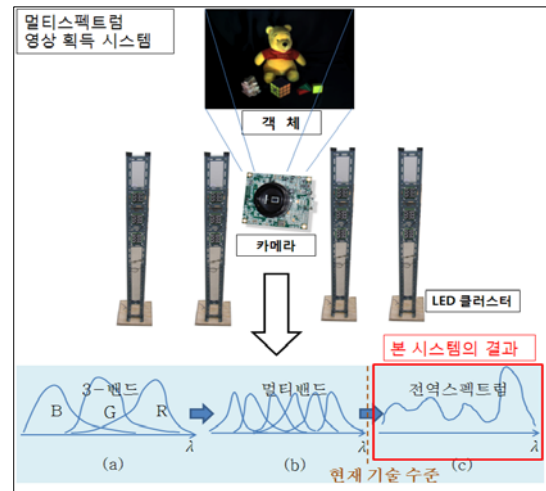


그림 2. 시스템 구성도

3. 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템

멀티스펙트럼 영상 획득 시스템을 구현하기 위한 LED 클러스터(LED Cluster), LED 컨트롤러(LED Controller)에 대해 설명한다. LED 클러스터는 400-700 nm 사이 파장대의 다양한 범위의 LED로 구성되어 있는 조명 장치를 말한다. 본 논문에서 LED 클러스터는 총 12개로 구성되어 있으며 하나의 클러스터에는 총 81개의 LED가 배치될 수 있다. 다수의 LED 클러스터를 제어하기 위해 총 4개의 LED 컨트롤러가 있는데 컨트롤러에는 마스터 보드(Master Board)와 슬레이브 보드(Slave Board)로 나뉜다. 마스터 보드는 슬레이브 보드 제어 및 사용자의 입력에 대한 처리를 수행한다. 슬레이브 보드는 마스터 보드에서 보내진 제어 신호를 통해 LED 클러스터에 대한 제어를 수행한다.

3.1 LED 클러스터

LED 클러스터는 총 12개로 구성된다. 실제 제작된 LED 클러스터 구조는 그림 3과 같으며 소켓(Socket)형태로 제작하여 LED 배치를 유동적으로 가능하게 제작하였고 이를 통해 실험의 방식에 따라 LED를 재배치할 수 있다. 또한 LED 클러스터의 배선을 각각의 LED마다 연결 해줌으로써 개별 제어가 가능하다. 즉, LED마다 on/off 제어 및 밝기 조절을

자유롭게 제어할 수 있도록 제작하였다. 하나의 클러스터에는 총 81개의 LED를 배치할 수 있으며 3x3 배열로 한 픽셀(Pixel)에 9개의 LED로 구성된다. 하나의 픽셀에는 총 6가지의 LED가 배치되고 여분의 공간에는 LED 특성상 밝기가 상대적으로 낮은 편에 속하는 LED를 배치하였다.

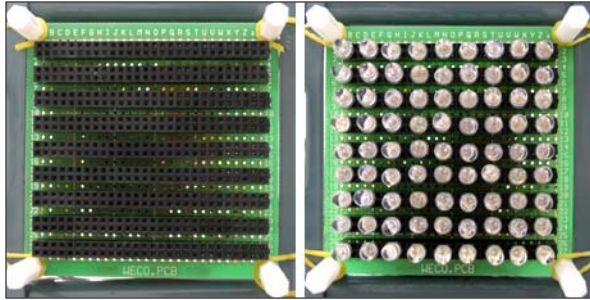


그림 3. 클러스터 구조(왼쪽)와 LED 배치 모습(오른쪽)

3.2 LED 컨트롤러

다수의 LED 클러스터를 제어하기 위해 총 4개의 LED 컨트롤러가 있는데 컨트롤러에는 마스터 보드(Master Board)와 슬레이브 보드(Slave Board)로 나뉜다. 마스터 보드는 슬레이브 보드 제어 및 사용자의 입력에 대한 처리를 수행한다. 슬레이브 보드는 마스터 보드에서 보내진 제어 신호를 통해 LED 클러스터에 대한 제어를 수행한다. 마스터 보드는 그림 2와 같으며 3개의 슬레이브 보드를 제어하는 데 필요한 제어 신호를 보내기 위한 시리얼 통신 기능, LED 클러스터와 카메라간의 동기를 맞추기 위한 동기신호를 발생하는 기능, 사용자가 컴퓨터를 이용하여 직접 슬레이브 보드를 제어하기 위한 원격 제어 기능으로 구성된다.

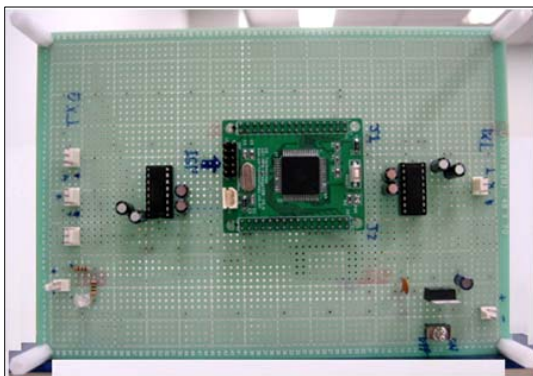


그림 4. 마스터 보드

슬레이브 보드는 총 3개로 구성 된다. 하나의 슬레이브 보드는 4개의 LED 클러스터를 제어할 수 있으며 총 3개의 슬레이브 보드를 통해서 12개의 LED 클러스터를 제어하게

된다. 본 시스템에서 슬레이브 보드는 클러스터 하나당 81개의 LED를 제어해야 한다. 그러나 Atmega2560[3]으로는 이론적으로 81개를 모두 제어 가능하지만 전류적인 문제로 실제로는 불가능하다. 그래서 버퍼(Buffer)[4]와 디멀티플렉서(DeMultiplexer)[5]를 조합한 회로를 구성하여 81개의 LED를 제어한다.

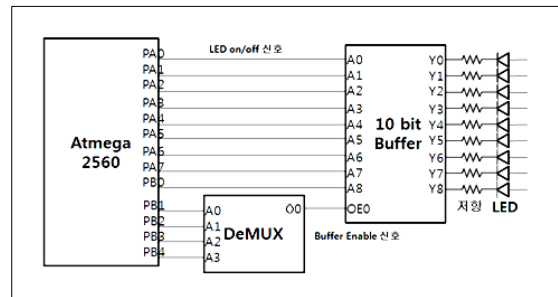


그림 5. 슬레이브 보드 회로도

그림 5는 10 비트 버퍼와 디멀티플렉서를 조합한 회로를 보여주며 그림 5에는 LED 클러스터 하나를 제어하는 데 필요한 회로만 표현하였다. 그림 5에서 보는 것처럼 Atmega2560에서는 PORTA 0-7, PORTB0으로부터 9개의 LED on/off 신호를 10비트 버퍼에 보내면 10비트 버퍼는 이 정보를 A0부터 8까지의 입력 핀에 담아둔다. 즉, 하나의 버퍼에는 9개의 LED가 연결되어 있어서 하나의 버퍼로 9개의 LED가 제어된다. 또한 Atmega2560은 디멀티플렉서를 통해 원하는 버퍼를 선택하는데 PORTB 1-4로 디멀티플렉서에게 원하는 버퍼를 선택하는 정보를 보내고 디멀티플렉서는 이 정보를 출력 핀 $\bar{O}n$ 을 통해 해당하는 버퍼에 Enable 신호를 보내서 버퍼를 선택한다. 즉, 하나의 디멀티플렉서에는 9개의 버퍼와 연결되어 있어서 하나의 디멀티플렉서로 9개의 버퍼 및 81개의 LED를 선택적으로 제어된다. 하나의 디멀티플렉서를 통해 순차적으로 9개의 버퍼를 제어함으로써 81개의 LED까지 제어하게 된다. 그러므로 하나의 클러스터를 제어하기 위해서는 Atmega2560 1개, 10 비트 버퍼 9개, 디멀티플렉서 1개가 필요하다.

결국, 하나의 슬레이브 보드에는 그림 6에서 보는 것처럼 4개의 LED 클러스터를 제어하기 위해 총 Atmega2560 1개, 10 비트 버퍼 36개, 디멀티플렉서 4개로 구성된다. Atmega2560은 공통 데이터 버스(Common Data Bus)를 통해 각각의 9개의 10 비트 버퍼에 LED on/off 신호를 보내고 디멀티플렉서를 통해 순차적으로 버퍼 및 LED를 제어함으로써 하나의 슬레이브 보드를 통해 4개의 LED 클러스터가 최종적으로 제어된다.



그림 6. 슬레이브 보드

3.3 시리얼 통신

기기간의 통신이나 컴퓨터와 기기와의 통신에서 시리얼 방식을 이용하면 적은 수의 선으로 장거리의 통신을 가능하게 한다. 시리얼 통신 방식은 크게 동기식 통신과 비동기식 통신으로 나누어지며, 고속의 데이터 전송을 위해서 동기식 통신을 이용하지만, 송·수신 기기간의 동기를 맞춰야 하기 때문에 비동기식 통신에 비해 제어가 어렵다.

시리얼 통신으로 데이터를 송·수신하는 방법에는 폴링 방식과 인터럽트 방식이 있다. 폴링 방식은 데이터가 송·수신되었는지 주기적으로 확인하는 방식이며, 인터럽트 방식은 데이터가 송·수신될 때 프로세서에게 즉각 보고를 하도록 하는 방식이다. 본 시스템에서는 즉각적인 명령 처리가 가능한 인터럽트 방식의 데이터 송·수신 방식인 인터럽트 방식을 사용한다.

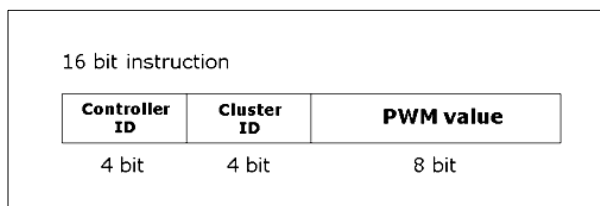


그림 7. 데이터 패킷

본 시스템에서는 시리얼 방식으로 마스터 보드와 슬레이브 보드간의 데이터 통신 하는데 데이터 패킷은 그림 7과 같이 정의한다. AVR에서의 데이터 통신은 한 번에 8비트씩 이루어짐으로서 16비트를 전송하기 위해서는 실제 2번의 데이터 전송 과정이 필요하다. 본 시스템에서는 데이터 패킷을 첫 번째 8비트와 두 번째 8비트로 나누는데 첫 번째 데이터 비트는 ID를 식별해주기 위해 사용하는 것이고 두 번째

데이터 비트는 PWM 값(pulse-width modulation value)으로 사용한다. 첫 번째 8비트는 상위 4비트와 하위 4비트로 나뉘는데 상위 4비트는 LED컨트롤러의 식별자로 쓰이고 하위 4비트는 LED 클러스터의 식별자로 쓰인다. 두 번째 8비트는 각각의 LED에 대한 PWM 값 설정으로 쓰인다.



4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 환경

본 논문에서는 암실 환경에서 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템을 이용하여 실험을 수행하였다. 총 12개의 LED 클러스터를 사용하였으며 하나의 클러스터에는 총 6종류의 색을 갖는 LED가 81개로 구성되었다. 각 LED는 다른 밝기를 가지며, 청색 LED가 가장 밝다. LED 밝기 차이를 해결하기 위해 상대적으로 강한 밝기를 갖는 청색 LED의 수를 조절하였다. LED 클러스터는 3개씩 하나의 거치대에 설치하였고 실험을 위해 4개의 거치대를 균일하게 위치시켜 LED 조명이 고르게 퍼지도록 하였다. LED 클러스터 중간에는 RGB 카메라를 위치시켰다. 획득된 멀티스펙트럼 영상으로부터 PC를 이용하여 영상의 반사 스펙트럼을 구하고 이를 통해 전역 스펙트럼 기반의 영상 재조명 결과를 얻었다. 본 실험의 사용된 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템 및 PC 사양은 표 1과 같다.

표 1. 실험 시스템 사양

장치	사양
CPU	Intel® Pentium 4 CPU 2.8GHz
RAM	1024MB RAM
VGA	Intel® 82852 GM Graphic 컨트롤러
LED	Red LED 108개
	Blue LED 108개
	Green LED 108개
	Bluish-Green LED 108개
	Amber LED 108개
	White LED 108개
LED 컨트롤러	PCB 보드 3개
카메라	PointGrey Dragonfly Express Luzchem Research, Inc.
분광기	Spectroradiometer Model number SPR-03
	Visual C++ 6.0
S/W	OpenCV Library[6]
	Matlab 7.0

4.2 결과 분석

멀티스펙트럼 영상을 획득하기 위해 LED 조명을 청색, 청록색, 녹색, 주황색, 적색, 백색 순으로 영상을 획득 하였다. 획득한 영상을 이용하여 반사 스펙트럼을 구하였다. 구한 반사 스펙트럼의 결과는 그림 8과 같으며 이 결과를 이용하여 전역 스펙트럼의 영상을 재구성한 결과는 그림 9와 같다. 본 실험을 통해 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템으로 입의의 객체에 대한 반사 스펙트럼을 비교적 간단하게 구하였고 그 결과를 토대로 영상을 백열등, 형광등, 태양광 등의 다양한 조명환경으로 재조명할 수 있었다.

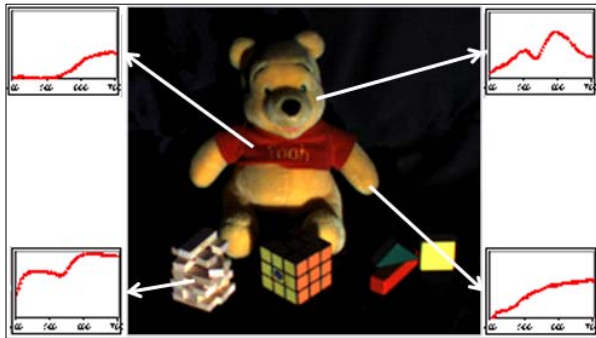
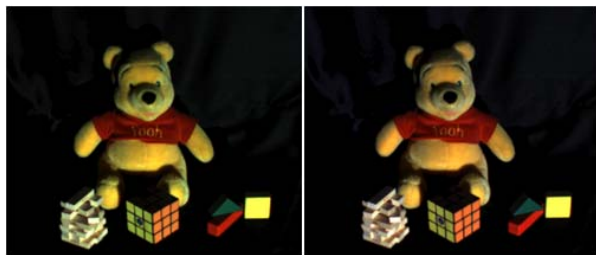


그림 8. 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템으로 얻어진 영상의 반사 스펙트럼 정보



백열등

형광등



태양광

이상적 백색등

그림 9. 영상 재조명 결과

5. 결론

본 논문에서는 LED 클러스터, LED 컨트롤러, 그리고 카

메라를 사용하여 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템을 구현하여 전역 스펙트럼 기반으로 고화질의 영상을 실시간으로 획득할 수 있는 시스템을 제안하였다. LED 클러스터는 다양한 범위의 LED로 구성되며 LED 클러스터는 총 12개를 사용하였다. 제안된 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템을 통해 전역 스펙트럼의 영상을 획득하였으며 이를 토대로 전역 스펙트럼의 영상을 재조명할 수 있는 시스템임을 검증하였다.

향후 제안된 멀티스펙트럼 영상 획득 시스템을 이용하여 고속으로 멀티스펙트럼 영상을 획득하기 위한 다중 조명 (multiplexed illumination)에 대한 연구가 수행되어야 하고, 다양한 응용 분야에 활용될 수 있도록 추가 기술 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] J. Parkkinen, J. Hallikainen, and T. Jaaskelainen, "Characteristic spectra of munsell colors," J. Opt. Soc. Am. A, 6(2), pp. 318-322, 1989.
- [2] J. Park, M. Lee, M. Grossberg, and S. Nayar, "Multispectral imaging using multiplexed illumination," Proc. of ICCV, 2007.
- [3] <http://www.atmel.com/dyn/products/datasheets.asp/avr2560>
- [4] <http://www.alldatasheet.co.kr/view.jsp/?Searchword=HEF4515>
- [5] <http://www.alldatasheet.co.kr/view.jsp?Searchword=74ABT827>
- [6] <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/index.htm>