

디지털 마이크로 미러 시스템에서의 손끝 인식 알고리즘

최종호*

Finger Tip Recognition Algorithm in Digital Micromirror System

Jong-ho Choi*

요 약 미래 스마트 러닝을 목표로 디지털 마이크로 미러 시스템(DMS : Digital Micromirror System)이 제안되어 있다. 다양한 인터페이스를 제공하기 위해 소형 프로젝터에 CMOS 센서 모듈을 내장한 시스템이다. DMS에서의 인터페이스 제공의 기본은 프로젝터에서 투사된 영상에서 손끝을 인식하는 것이다. 그러나 프로젝트 환경에서 각종 객체의 인식률은 영상열화 요인으로 인해 매우 낮다. 따라서 본 논문에서는 프로젝트 환경에서 영상열화 요인의 영향을 최소화한 Retinex 변환과 IR 구조광을 이용한 손끝 인식 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 유용성을 실험을 통해 검증한 결과, 손끝을 효율적으로 인식할 수 있음을 확인하였다. DMS에 적용할 경우 사용자 인터페이스가 강화될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract A digital micromirror system was proposed for future smart learning. This system is the compact micro-projector with a built-in CMOS sensor modules. It can provide the various interfaces. The basis of interface is to recognize the finger tip on projected image. But the recognition rate of finger tip is very low due to various image degradations. In this paper, we propose the finger tip recognition algorithm that minimize the image degradation factors by using the Retinex transform and IR structuring light. By verifying the availability of the algorithm through experiment, the performance of finger tip recognition was confirmed. Therefore, the user interface can be able to be enhanced significantly in DMS.

Keywords : DMS, Projector, CMOS sensor, Finger tip recognition, retinex transform, IR Light

1. 서론

전자책의 일종인 디지로그 북(Digilog Book)[1-3]은 아날로그와 디지털 정보를 결합한 것으로 비전자매체인 인쇄물에 전자매체인 디지털 콘텐츠를 프로젝트로 투사 함으로써 증강현실을 구현하는 것이다. 디지로그 북은 특수교육, 체험형 교육, 과학실습 교육 등에서 사실감 및 몰입도의 측면에서 높은 교육적 성과를 얻을 수 있다.

일방적 투사방식인 소형 프로젝터에 CMOS 센서 모듈을 삽입한 일체형 디지털 마이크로 시스템

(DMS : Digital Micromirror System)이 디지로그 북을 상용화하기 위한 시스템으로 제안되어 있다 [4]. CMOS 센서를 이용한 정보입력과 소형 프로젝터를 통한 정보출력이 동시에 가능한 양방향 기능의 구현으로 사용자와의 인터페이스를 강화할 수 있는 전용 시스템이다.

CMOS 센서를 내장시킨 이유는 디지로그 북내의 특정 부분을 손가락으로 가리킬 경우, 손끝을 인식하여 그 객체에 관련된 콘텐츠를 프로젝트 영상으로 투사하거나 수증기, 바람, 안개 발생 등에 관련된 장치를 구동하기 위한 것이다.

This paper is the result of a study by the Kangnam University Intramural Research Support Project 2014.

* Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Kangnam University(jhchoi@kangnam.ac.kr)

Received February 26, 2016

Revised March 8, 2016

Accepted March 16, 2016

사용자가 손가락으로 디지로그 북의 특정 부분을 가리키는지를 인식하기 위해서는 CMOS 모듈로 촬영한 영상에서 손끝을 인식하는 것이 필요하다. 그러나 CMOS 모듈로부터 촬영된 영상은 실제 영상이라 아니라 프로젝터로부터 투사된 영상을 촬영한 것이다. 따라서 블러링, 기하학적 왜곡, 광반사 왜곡, 밝기 왜곡 등의 영상열화 요인 때문에 기존의 알고리즘으로는 손끝을 인식하는 것이 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 프로젝터에서 투사된 영상에 포함된 각종의 영상열화 요인의 영향을 최소화하여 손끝 인식률을 높일 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 새롭게 제안한 것은 화질을 개선하기 위한 영상개선 처리에 해당하는 Retinex 변환, 영상열화 요인을 제거하기 위한 영상복구 처리에 해당하는 Gamma 보정 처리, 그리고 IR 구조광을 이용한 손끝 인식 처리이다.

제안한 알고리즘의 유용성을 실험을 통해 검증한 결과, 투사 영상에서 손끝을 효율적으로 인식할 수 있음을 확인하였다. DMS에 적용할 경우, 스마트 러닝 시스템에서 사용자 인터페이스가 크게 강화될 수 있을 것으로 판단된다.

2. DMS 기능 및 구성

DMS는 초소형 프로젝터, CMOS RGB 카메라, CMOS IR 카메라, 4D 모듈 등이 장착된 시스템이다. 여기서 프로젝터는 각종의 디지털 콘텐츠를 영상물의 형태로 아날로그 매체인 종이 인쇄물에 투사하기 위한 것이고, CMOS RGB 카메라는 손가락으로 가리키는 특정 부분을 인식하기 위한 것이다. 또한 CMOS IR 카메라는 손가락에 의한 IR 구조광의 변화 영상을 취득하기 위한 것이다.

한편, 4D 모듈은 콘텐츠의 실감성 및 효능성을 높이기 위한 목적으로 콘텐츠에 부합하는 바람, 수증기, 안개 등을 발생시키기 위한 것이다. 그림 1에 DMS의 구성 및 기능을 나타냈다[4].

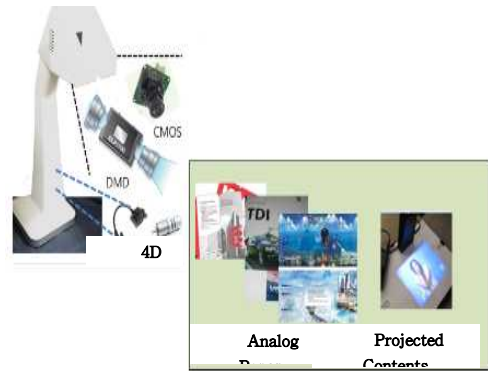


그림 1. DMS 구성 및 기능
Fig. 1. DMS configuration and function

3. 손끝 인식 알고리즘

그림 2에 본 논문에서 제안한 투사영상에서의 손끝 인식 알고리즘의 블록도를 나타냈다. 제안한 알고리즘에서 투사영상 취득은 IR 구조광에 손가락이 겹쳐진 영상을 프로젝터 투사영상에서 취득하는 과정이다. 이 경우 일반 조명과 IR 구조광으로 인해 반사왜곡이 발생하므로 영상개선 처리로서 Retinex 변환을 이용하여 최소화한다. 그리고 빛의 세기와 영상밝기 값의 비선형성을 보정하기 위해 영상복원 처리로서 Gamma 보정 연산을 수행한다.

인식부분은 IR 구조광을 이용하여 손가락 끝을 인식하는 처리이다. 최종적으로는 손끝 인식 결과를 이용하여 인식된 위치에 해당하는 인터페이스 구동 또는 콘텐츠를 발생하는 처리를 수행한다.

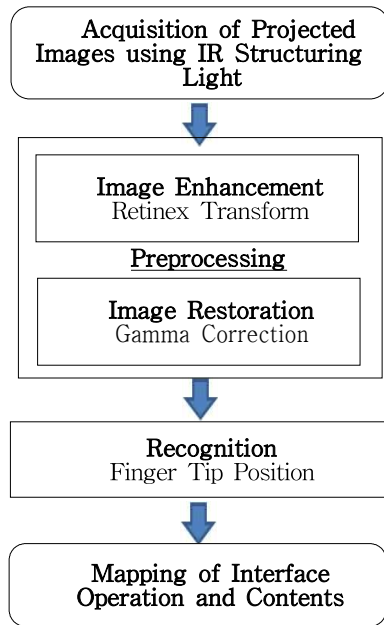


그림 2. 손끝 인식 알고리즘
Fig. 2. Finger tip recognition algorithm

3.1. 전처리

손끝 인식 알고리즘의 첫 단계에서 영상개선을 목표로 수행하는 Retinex 연산[5]은 카메라 출력 영상의 반사 왜곡을 개선하기 위한 처리이다. 입력 영상 $I(x,y)$ 는 반사성분 영상 $R(x,y)$ 와 배경조명 성분 영상 $B(x,y)$ 와의 산술 곱으로 표현된다. 이 관계를 식 (1)에 나타냈다.

$$I(x,y) = R(x,y) \times B(x,y) \quad (1)$$

식 (1)의 양변에 상용로그를 취함으로써 산술

곱 연산을 산술 합과 차의 연산으로 변환하는 것이 가능하다. 이 관계를 식 (2)에 나타냈다.

$$\text{Log}\{R(x,y)\} = \text{log}\{I(x,y)\} - \text{log}\{B(x,y)\} \quad (2)$$

식 (2)에서 $B(x,y)$ 는 $I(x,y)$ 와 가우시안 필터 $G(x,y)$ 의 컨볼루션이므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{log}\{R(x,y)\} = \text{log}\{I(x,y)\} - \text{log}\{I(x,y) * G(x,y)\} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 반사계수를 구하면 반사왜곡을 보정하는 것이 가능하다.

프로젝터로부터 투사된 영상을 CMOS 모듈로 촬영하는 과정에서 반사되는 빛의 세기와 영상의 밝기 값은 비선형 관계에 있으므로 이를 선형으로 변환하기 위하여 식(4)에 의거, 그림 3에 나타낸 바와 같이 Gamma 보정을 수행한다.

$$I = 255 \times (I/255)^{1/\gamma} \quad (4)$$

3.2. 손끝 위치 인식

본 논문에서는 사용자가 디지로그 북의 특정 부분을 손가락으로 가리킬 경우, 손끝의 위치를 인식하여 그에 대응하는 콘텐츠를 발생시키는 인터페이스를 설계하였다.

손끝 인식 알고리즘을 저연산 구조로 설계하기 위하여 IR 구조광(Structured Light)을 사용하였다. 구조광은 CMOS 모듈을 이용하여 실사물 상에서 손가락의 움직임 및 터치 등을 쉽게 인식할 수 있도록 하기 위해 워드 라인을 나타내는 역할을 한다.

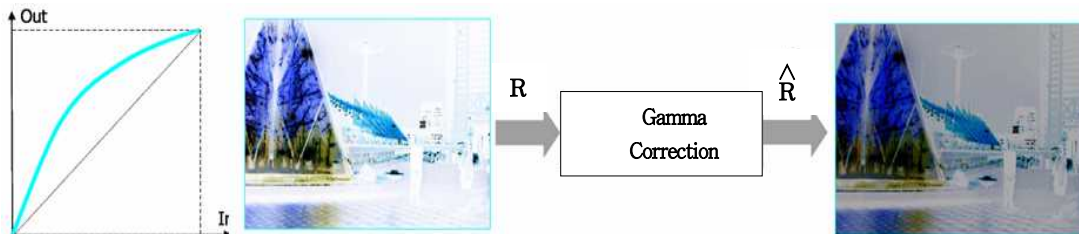


그림 3. Gamma 보정
Fig. 3 Gamma correction

IR 구조광 생성 모듈은 레이저의 회절 특성을 이용하여 레이저와 회절격자를 이용하여 설계하였다. 그림 4에 레이저의 회절에 의한 출력 변화를 나타냈다. 그림 4(a)는 포인트(dot) 타입의 기본 레이저 출력을, (b)는 라인생성 회절격자에 의해 회절된 모습을, (c)는 (b)의 출력을 Matrix 회절격자로 회절 시켜 여러 개의 라인으로 출력을 만든 형태이다.

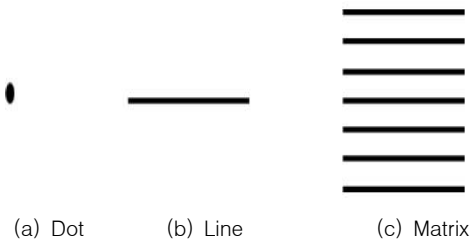


그림 4. 구조광 형식
Fig. 4. Structured light type

매트릭스 회절격자의 경우, 시스템의 사용 거리인 300~450(mm) 거리에서 약 200x200(mm) 공간을 포함할 수 있고, 라인 간격은 손가락 굵기 정도인 15mm 내외가 적당한 것으로 실험을 통하여 확인하였다.

DMS에 장착된 IR CMOS 모듈은 IR 구조광을 콘텐츠에 주사하고 손가락에 의한 구조광의 왜곡 현상, 즉 선의 변형과 밝기변화 등을 인식하여 비접촉식으로 클릭/드래그/릴리즈 기능을 인식한다 [6].

그림 5에 손끝 추적 및 인식 알고리즘의 블록도를 나타냈다. 시스템을 초기화 하고 적외선 레이저를 작동한 후, DMS에 장착된 적외선 카메라로 영상을 취득한다. 적외선 영상은 그레이스케일 영상으로 변환하고, 그림 6에 나타낸 바와 같이 특징 라인 즉 변화가 있는 라인 수 N을 검출하여 N이 한 개라도 존재하면 N번째 라인의 특징점을 추출하고, N이 0이면 특징점들로부터 손영역을 추출한 후, 처음으로 다시 돌아가 반복한다.

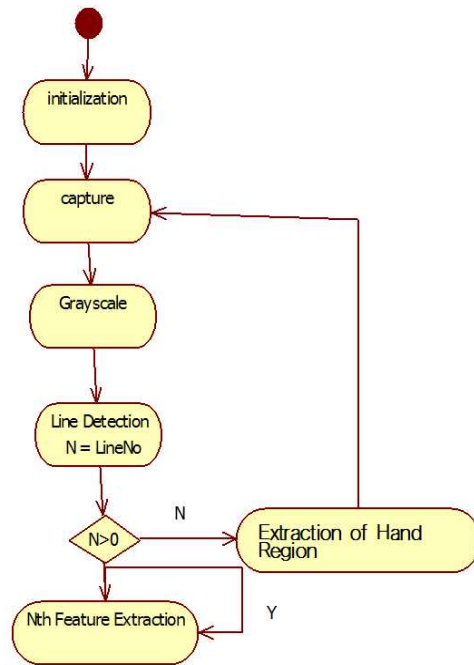


그림 5. 손끝 인식 알고리즘
Fig. 5. Finger tip recognition algorithm

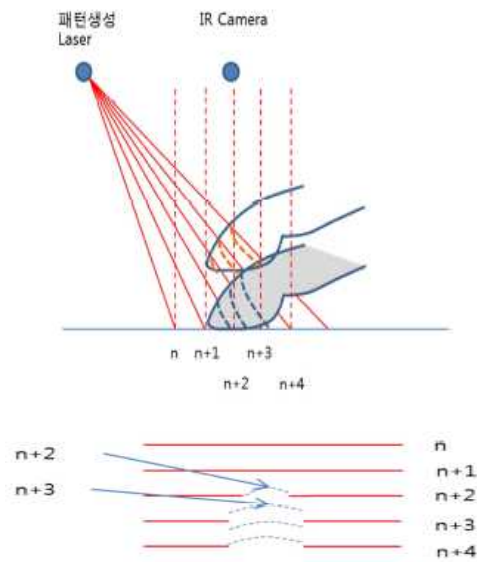


그림 6. 손끝 인식 원리
Fig. 6. Finger tip recognition concept

4. 실험

본 논문에서는 상용화 시스템으로 개발한 DMS에서 촬영한 투사영상을 대상으로 전처리 즉 영상개선에 해당하는 Retinex 변환 및 Gamma 보정 알고리즘, 그리고 손끝 인식 알고리즘의 유용성을 검증하였다.

프로젝터로부터 투사된 영상이 포함된 디지털 그 북을 CMOS 모듈로 측정할 경우, 프로젝트에서 투사되는 광신호의 불균일성에 기인한 각종의 왜곡이 발생한다.

본 논문에서는 블러링, 기하학적 왜곡, 광반사 왜곡, 불균일 밝기 분포 등의 영상열화 요인을 제거하기 위해 Retinex 변환 및 Gamma 보정 처리로 구성되는 영상개선 알고리즘을 제안하였다. 그림 7에 프로젝트 투사 영상을 CMOS 모듈로 촬영한 샘플 영상과 전처리 후의 결과를 나타냈다.



그림 7. 투사 샘플영상의 전처리 결과
Fig. 7. Preprocessing result of projected sample image

그림 8에 IR 구조광을 이용하여 투사된 콘텐츠 영상에서 손끝을 인식하는 각각의 과정에서 산출된 결과를 나타냈다.

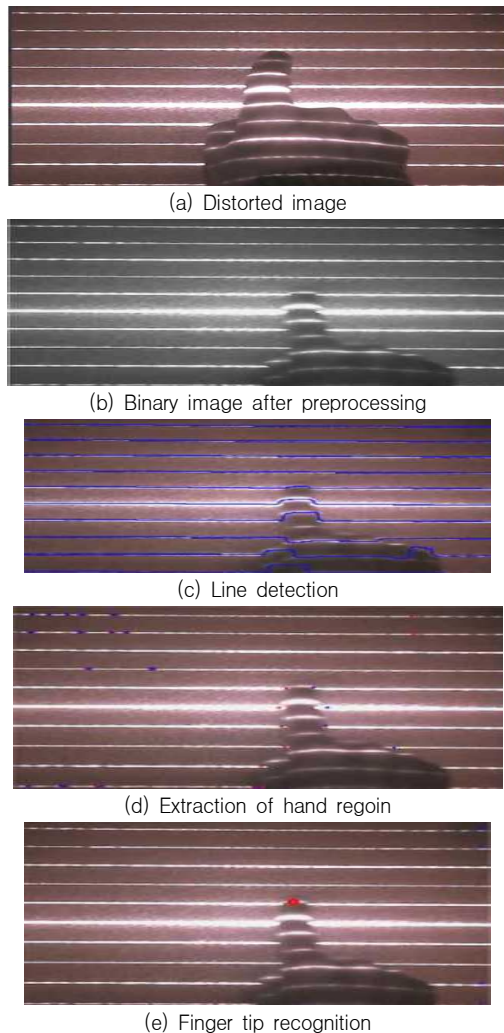


그림 8. 손끝 인식 과정
Fig. 8. Procedures of finger tip recognition

그림 9에 디지털 그 북에서 영어 알파벳의 첫문자로 시작하면서 정답에 해당하는 영상객체를 손끝으로 가리키는 방식의 학습방식을 나타냈다[6].

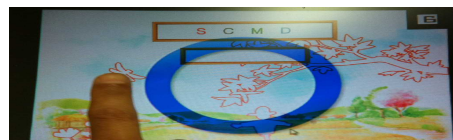


그림 9. 영어 디지털 그 북 손끝 인식 실험
Fig. 9. Experiment of finger tip recognition in english digilog book

본 논문에서 제안한 손끝 인식 알고리즘을 그림 8과 같은 방식으로 각종의 디지로그 북에 적용한 결과, 실시간으로 학습을 수행할 수 있음을 확인하였다. 특히, 손끝 인식을 기반으로 하는 심감형 4D 모듈 동작 및 해당 콘텐츠 투사가 자연스럽게 수행될 수 있음을 학습자들의 주관적 설문 조사를 통해 확인하였다.

5. 결론

기존의 e-러닝과는 차별화된 디지로그 북은 특수 교육, 체험형 교육, 과학실습 교육 등에서 많은 학습효과를 나타낼 수 있다. 사실감이 제고된 콘텐츠를 사용함으로써 몰입도가 높은 교육이 가능하기 때문이다. 기존 연구에서 디지로그 북의 구현을 위한 DMS를 상용화하였다. 소형 프로젝터를 통한 정보출력과 CMOS 센서를 통한 정보입력이 동시에 가능한 시스템이다.

본 논문에서는 DMS에서 인터페이스를 강화하는 것을 목표로 디지로그 북의 특정 부분을 사용자가 손가락으로 가리키면 그에 해당하는 다양한 이벤트가 표시되는 시스템이 필요하다는 관점에서 프로젝션 영상에 존재하는 영상열화 요인에 강건한 손끝 인식 알고리즘을 제안하였다.

IR 구조광을 이용한 손끝 인식 실험 결과, Retinex 변환 및 Gamma 보정 처리로 각종의 왜곡을 전처리 과정에서 최소화 할 수 있고, 손끝을 효율적으로 인식함으로써 편리한 사용자 인터페이스로 디지로그 북에 효율적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

REFERENCES

[1] T. Ha, Y. Lee, W. Woo, "Developmental Status and Prospect of Digilog Book based on the Interactive AR," Korea Multimedia Society, No. 13, Issue 3, pp.89-98, Sept. 2009.

[2] Gum-Sook Hoang, "An Experimental Study on Reading Effect of E-book,"

Korean Biblia Society for Library and Information Science, No. 17, Issue 1, pp.47-62, July 2006.

[3] Seong-Won Park, Duk-Shin Oh, "Mobile Contents for Learning of English Presentation based on Android Platform," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 16, No. 5, pp.41-50, 2011.

[4] Jong-Ho Choi, "Design of Realistic Digital Micromirror System for Special Education", Journal of Korea Institute of Information Electronic Communication Technology Sciences, Vol. 8, No. 2, pp.163-168, April, 2015.

[5] Hyo-Sang, Cha and Sung-Hoon, Hong, "Advanced Retinex Algorithm for Image Enhancement", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 16, No. 1, pp. 29-41, Jan. 2013.

[6] Chul-Su Lim, Jong-Ho Choi, Jae-Wan Choi, "Live Book Service System Mixed Analog and Digital Contents". Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 16, No. 9, pp.97-105, 2011. 9.

저자약력

최종호(Jong-Ho Choi)

[중신회원]



- 1982년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1987년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 3월~현재 : 강남대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

영상정보통신, 제스처인식, 혼합회로설계