

---

# 카메라 추적 기반 레이저 포인터 시스템의 실시간 처리와 상호작용 개선을 위한 제안

## Proposal on the Enhancement of Real-time Processing and Interaction in a Camera-tracked Laser Pointer System

임종관, Jong Gwan Lim \*, 손영일, Young Il Sohn\*\*, 파룩 샤리피, Farrokh Sharifi \*\* 권동수, Dong Soo Kwon \*\*\*

---

**요약** ~ 본 논문에서 카메라 추적 기반 레이저 포인터 시스템의 실시간 상호작용을 개선하기 위해 새로운 아이디어를 제시하고 그에 대한 타당성을 분석한다. 영상정보에 기반한 해당 시스템의 반응시간을 향상시키고, 청중에게 성가신 시각정보의 남용을 방지하기 위하여 레이저 포인터의 기능을 이원화 하였다. 이를 위해 기능성 관심 영역을 정의하고 이에 따른 새로운 상호작용을 소개하였다. 끝으로 위 아이디어에 기반한 시스템의 성능을 점검하는 실험을 진행하여 신뢰도, 정확도, 잠복기 및 유용도 측면에서 성능을 측정하였다.

**Abstract** ~ For reliable real-time interaction in a camera-tracked laser pointer system, a new idea is proposed and its feasibility is tested in this paper. In order to improve response time in the system and remove useless visual overload, the function of a laser pointer in the system is divided, the Region of Functional Interest is defined and subsequently its new interactions are introduced. Finally the experiments to measure reliability, accuracy, latency and usability are conducted and the results are presented.

**핵심어:** *Multimodal Interaction, Visual Interaction*

---

이 연구(논문)는 산업 자원부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발사업 (인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업)의 일환으로 수행되었음.

\*주저자 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: [limjg@robot.kaist.ac.kr](mailto:limjg@robot.kaist.ac.kr)

\*\*공동저자 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: [sonyi@robot.kaist.ac.kr](mailto:sonyi@robot.kaist.ac.kr)

\*\*공동저자 : Department of Mechanical and Industrial Engineering Ryerson University e-mail: [fsharifi@ryerson.ca](mailto:fsharifi@ryerson.ca)

\*\*\*교신저자 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: [kwonds@kaist.ac.kr](mailto:kwonds@kaist.ac.kr)

## 1. 서론

빔 프로젝터와 레이저 포인터, 간단한 발표용 소프트웨어를 사용한 발표방식이 각종 회의의 표준으로 자리를 잡고 있다. 이러한 발표 환경에서 대개 발표자가 청중의 관심을 집중시키기 위해서 레이저 포인터를 사용하며, 발표용 소프트웨어를 조작하기 위해서 별도의 마우스나 키보드를 사용한다. 발표내용을 가리키는 레이저 포인터와 발표진행을 위해 조작하는 마우스의 동시 사용은 발표자의 진행을 더디게 할 뿐 아니라 청중의 집중도마저 떨어뜨린다. 이를 위하여 Kirstein et al. [1]이 1999년 최초로 제안한 것이 카메라 추적 기반의 레이저 포인터 시스템이다. 위 시스템을 간단히 설명하면, 빔 프로젝터와 레이저 포인터를 사용하는 일상적인 발표 환경에서, 영사막을 카메라로 촬영하여 얻은 이미지상의 영사막과 레이저 광원의 기하학적 위치 관계를 영사막에 투사되는 컴퓨터 화면과 마우스 커서의 위치 관계로 변환하는 아이디어이다. 즉 영사막에 투영된 레이저 포인터의 광점으로 마우스의 커서를 이동시킴으로써 두 기기의 기능을 하나의 장치로 대체하려는 시도이다.



그림 1 카메라 기반의 레이저 포인터 시스템

여러 문제들이 위 시스템에 얽혀 제기되었으나 이들은 주로 다음과 같은 세 가지 형태로 무리지어진다. 첫째, 강인한 레이저 광점의 검출. 둘째, 정확한 카메라-화면 좌표변환, 셋째, 레이저 포인터에 적합한 상호작용 기술. 위 시스템이 영상정보를 사용하기 때문에 첫째, 둘째 문제가 비롯되었음은 자명하다. 따라서 영상 처리 성능이 곧 위 시스템의 성능과 직결되며 이를 평가하기 위해 신뢰도, 잡복기, 정확도라는 3가지 척도가 사용된다[2]. 세 번째, 레이저 포인터에 적합한 상호작용 기술은 2차원 수평면에서 사용하는 마우스의 기능을 3차원 공간상에서 사용하는 레이저 포인터로 수행함으로써 발생하는 여타의 문제들과 더불어 위 시스템 상에서 사용자와 시스템 간의 상호작용을 풍성하게 하는 다양한 아이디어가 다루어진다. 본 논문에서는 마지막으로 서술한 사용자와 시스템간의 상호작용을 향상 시키며 동시에 위 시스템 상에서 원활한 실시간 처리의 병목이 되는 잡복기 문제도 해결하는 아이디어를 소개한다.

## 2. 사용자-시스템 상호작용에 대한 문제제기

### 2.1 청중 본위의 철학

처음 Kirstein et al. [1]이 1999년 최초로 제안한 위 시스템은 앞서 서론에서 설명하였듯이 마우스나 키보드 등 발표용 소프트웨어를 조작하는데 필요한 기기가 발표자의 원활한 상호작용을 제한한다는 문제점에서 제안되었다. 그러나 우리는 그동안 발표된 유사한 시스템[1, 2, 4, 5, 7]을 살펴 보면서 앞서의 발표자 중심 철학을 기반으로 개발된 비슷한 시스템이 중요한 사항을 놓치고 있음을 발견하였다. 그것은 회의나 수업 등에서 진행되는 발표에서 발표자의 원활한 진행이 필수적이지만, 발표 자체는 청중의 이해를 돕고 청중으로부터 동의를 구하기 위해 진행된다는 대전제이다. 따라서 우리는 청중들의 집중도를 저해하지 않아야 한다는 전제 아래서 발표자의 상호작용을 극대화시키는, 청중 본위의 철학으로 카메라 추적 기반의 레이저 포인터 시스템을 분석하였다.

### 2.2 레이저 광점과 커서의 동반 이동

청중의 입장에서 위 시스템을 분석하자 여러 문제점들이 지적되었는데 그중 하나가 레이저 포인터의 광점과 커서의 동반 이동이다. 서론에서 설명하였듯 본 시스템의 주된 아이디어는 레이저 광점의 영사막내 상대적 위치를 분석하여 이를 화면 상의 커서 위치로 전환하는 것이다. 따라서 위 시스템을 사용할 경우, 레이저 포인터의 광점을 이동시킬 때마다 커서가 이를 쫓는다(그림 2). 발표자가 마우스 조작을 위해 레이저 포인터를 사용하는 경우를 제외하고, 청중의 입장에서 내용을 지시하는 레이저 광점을 쫓는 커서는 발표 내용과는 하등의 관계가 없는 성가신 존재일 뿐이다. 이러한 문제의식은 실제로 마이크로소프트사에 제작한 파워포인트 제품에서도 발견되는데, 슬라이드가 시작되면 마우스 커서가 일정 시간 뒤 저절로 사라져 화면에서 보이지 않는다.

### 2.3 잡복기 - 원활한 실시간 처리의 병목

또한 사용하는 컴퓨터의 처리용량이나 카메라의 초당 입력 프레임이 낮으면 영상처리에서 커서좌표 환산까지 걸리는 시간이 길어지게 되고 따라서 레이저 광점의 위치 이동을 커서가 뒤늦게 따라다니는 형국이 되어 더욱 성가시다. 실제 레이저 광원의 위치 변화부터 시작하여 이를 포착한 시스템이 올바른 커서 좌표를 갱신하여 광원의 위치에 커서를 출력하는데 까지 걸리는 시간을 잡복기라 부르며, 위 시

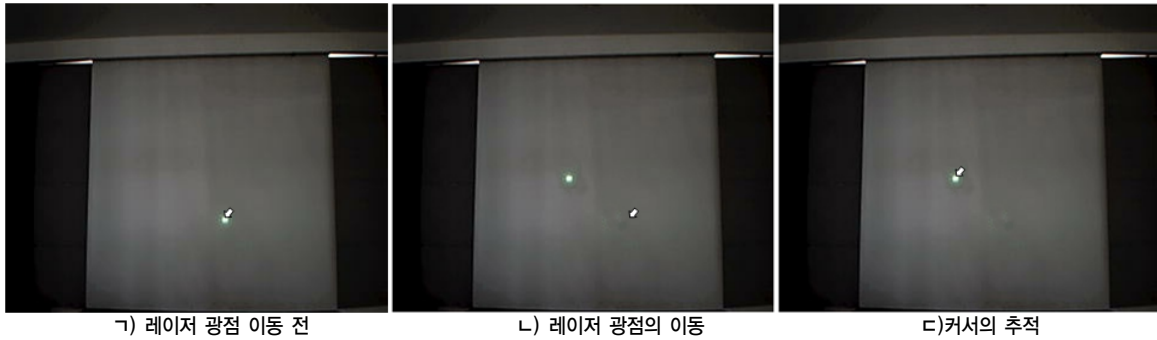


그림 2 레이저 광점과 커서의 동반 이동

시스템의 성능을 결정짓는 중요한 변수가 된다. 무엇보다도 사용자는 기존의 마우스에 비해 상당히 긴 잠복기에 민감한 반응을 보이는데 이러한 잠복기는 영상 시스템의 고유한 문제이다. 기존의 마우스가 저가의 가격으로 40~125Hz로 좌표를 갱신하는데 비해 영상 시스템은 30~60Hz가 대체를 이루며 시스템 사양에 따른 가격대 성능비가 높다.

### 3. 기능성 관심영역(Region Of Functional Interest)

#### 3.1 제안하는 방법

청중의 입장에서 눈에 성가신, 레이저 광점과 커서의 동반 이동문제를 해결하기 위해 우리는 다음과 같은 방법을 제안하였다. 첫째, 위 시스템에서 레이저 포인터의 기능을 레이저 포인터 본연의 지시 기능과 커서 이동 기능으로 분리하였다. 둘째, 레이저 포인터의 커서 이동 기능의 작동 시작과 끝을 구분하기 위한 일종의 스위치로서, 커서 주위에 전체 영상 화소(320×240)의 10% 크기의 영역을 설정하였다. 셋째, 영상처리의 범위를 영상 전체에서 앞서 설정한 영역으로 축소하여 영상처리 시간을 줄였다. 즉 카메라는 커서 주위의 영역만을 감지하기 때문에 필요에 의해 해당 영역을 레이저 포인터로 가리키기 전까지 레이저 광점을 추적하지 않는다. 그러므로 해당영역을 침범하지 않는 한 레이저 포인터는 지시용으로 사용할 수 있다. 해당영역에서 레이저 광점이 발견되는 순간부터 시스템은 광점의 영상 내 상대적 위치를 스크린 상의 좌표위치로 전환하고 따라서 커서가 움직인다. 커서가 움직이면, 이동한 커서 주위 영역을 일정 크기로 재설정한다.

#### 3.2 개념상의 차이

영상 처리에서 일반적으로 특정 목적을 위해 처리 대상을 전체 영상에서 선택된 크기의 영역만으로 제한하는 경우가 있는데 이를 관심 영역(Region of Interest)라 한다. 주로 영상 내에서 특정 부분을 강조하기 위해서나[3], 수행 속도를

빠르게 하기 위해서[4] 사용된다. Olsen et al. [4]은 레이저 광점 검출에 걸리는 시간을 줄이기 위하여 현재 프레임에서 탐지한 레이저 광점의 위치에 크기가 일정한 윈도우를 씌운 후, 다음 프레임에서 이 영역부터 레이저 광점을 검출했다. 우리가 제안한 방법은 영상 처리 시간을 단축시키기 위해 일정한 영역을 설정했다는 점에서 관심 영역과 유사하나 해당 영역에 레이저 포인터의 기능을 선택하는 스위치 역할을 부여하는 등 모종의 기능을 사상한다는 점에서 차이가 난다.

여러 논문에서 버튼이 없는 레이저 포인터로 마우스의 버튼 기능을 모사하기 위해 도입된 활성 영역(Active Region)[1, 4~5]을 살펴보자. 활성 영역은 GUI 상에서 특정 위치에 버튼 등을 설계한 후, 해당 영역에 레이저 광점이 일정 시간 머무르면 그 지점에서 clicking이 발생하는 효과를 준다. 활성 영역이 특정 기능과 영상 내 특정 영역을 사상시킨다는 점에서 우리의 아이디어와 비슷하나 GUI 상에서 고정된 형태의 영역으로 표현된다는 점과 영상 처리의 속도를 높이기 위한 수단은 아니라는 점에서 차이가 있다.

앞서 설명한 관심 영역과 활성 영역의 개념을 아우르는 우리의 아이디어를 두 개념을 적절히 합한다는 뜻에서 기능성 관심 영역(Region Of Functional Interest)이라 명명했다.

#### 3.3 기능성 관심 영역이 유발한 상호작용

카메라 추적 기반의 레이저 포인터 시스템에서, 단순히 레이저 포인터의 단순 지시 기능과 커서 이동 기능을 구분하는 일종의 스위치로서 제안된 기능성 관심 영역은 타 유사 시스템에서 경험할 수 없는 새로운 상호작용을 선보인다.

우선 영상 처리의 범위를 줄였기 때문에 앞서 제기한 잠복기에 의한 처리 지연 문제의 개선은 직접적으로 설명된다. 그러나 이외에도 기능성 관심 영역 내에서 레이저 광점이 검출되어야 커서의 좌표 변환이 활성화된다는 사항은 잠복기 문제에 대해 예상 밖의 효과를 낳는다. 보통 카메라 추적 기반의 레이저 포인터 시스템에서 레이저 포인터를 쥔 손의

움직임이 영상 처리 시간보다 훨씬 빠르기 때문에 늘 레이저 광점이 선행하고 커서가 이를 추적하는 양상이 반복되기 마련이다. 그러나 우리가 제안한 방법을 사용할 경우, 손의 움직임이 지나치게 빨라 기능성 관심 영역을 벗어나게 되면 커서는 제자리에 멈춰 선다. 멈춤 없이 커서를 이동시키기 위해 사용자의 감각과 근육기관은 일정 수준의 지연에 대해서 훌륭히 적응하는데, 마치 레이저 광점이 커서를 천천히 끌고 가는 양상처럼 보이며 잠복기 문제를 일시에 사라지게 한다. 이는 눈에 보이는 레이저 포인터 대신 광점이 보이지 않는 적외선 포인터를 사용하자 특정 과업을 수행하는 시간은 증대했으나 잠복기에 의한 만족도 저하는 개선되는 것과 비슷한 효과이다 [6~7].

더 나아가, 커서의 위치가 화면 내에서 자유롭게 이동한다는 점은 사용자의 개별적인 버릇이나 기호도 등이 반영된 상호작용을 야기한다. 즉 레이저 포인터를 단순 지시용으로 사용할 때 커서가 발표 내용의 한 중간에 위치할 경우 의도치 않게 레이저 광원이 기능성 관심 영역에 포함될 가능성이 존재한다. 따라서 사용자는 이러한 사태를 방지하기 위해 기능성 관심 영역을 화면 상의 가장 자리 등으로 치워 둔다. 기능성 관심 영역을 어느 곳으로 치워두느냐는 당연히 사용자의 선택에 달려 있으며 버릇에 의해 결정이 될 경우 사용자는 늘 화면 상의 일정 영역에 머무르는 기능성 관심 영역을 마치 미리 설정해둔 활성 영역처럼 간주하게 된다.



그림 3 구현된 하드웨어

끝으로 우리는 Cavens et al. [6]과 같이 레이저 포인터에 하드웨어적으로 2개의 버튼을 달아 사용 중인데, 기능성 관심 영역의 사용은 2개의 버튼 기능으로 가능한  $2^2$  가지 선택 조합을  $2^3$  개로 확장시키는 효과를 가져온다. 즉  $2^2$  가지 선택 조합이 기능성 관심 영역 안에서 만들어지는 경우와 영역 밖에서 만들어지는 경우 두 가지를 모두 고려할 수 있고 이러한 소프트웨어적인 방법론과 하드웨어의 결합은 본 시스템의 상호작용을 더욱 풍성하게 한다.

#### 4. 성능 평가를 위한 실험

본 방법론의 성능을 검증하기 위하여, 기능성 관심영역을 정의하지 않은 연구인 Kirstein et al. [1], Olsen et al. [4]

이 제안한 알고리즘과 우리가 제안한 방법론을 VC++을 사용하여 구현하였다. 또한 30fps, 320×240의 웹캠, XGA(1024×868) 빔 프로젝터, 1.5×1.2미터의 영사막, 29%의 CPU resource와 15MB의 메모리를 사용하는 1.8GHz의 Pentium 4 PC, 그리고 532nm 파장(녹색)의 레이저 포인터를 실험을 위해 사용하였다. 실험은 직사광선이 비치지 않는 일상적인 사무실 환경에서 인위적으로 조명을 제거한 채 진행되었으며, Keystone distortion[5]을 방지하기 위하여 카메라의 광축이 영사막에 수직하도록 웹캠을 2미터 높이의 삼각대에 설치하였다.



그림 4 실험 환경

22~33세의 10명의 정상적인 카이스트 학생을 대상으로, 신뢰도, 정확도, 잠복기를 측정하여 성능을 비교 분석하였다. 신뢰도, 정확도, 잠복기를 측정하기 위한 실험 설계는 다음과 같다. 우선 레이저 광점이 영사막에 비치는 지점과 이를 환산한 커서 좌표간의 오차를 측정하는 정확도 측정을 위해 사용자에게 이미 좌표값을 알고 있는 특정 지점을 레이저 포인터로 5초간 가리킬 것을 요청하였다. 이때, 사용자는 양손 뿐만 아니라 지지대등을 사용하여 5초 동안 광점이 해당 지점에서 벗어나지 않게 주의를 기울여야 한다. 또한 약정된 위치를 20여 군데 임의로 설정하여 1.5×1.2미터의 영사막 전 지역에 걸친 정확도를 계산하였다. 본 실험에서는 세 방법 모두 동일한 카메라-화면 좌표 변환 방법을 사용하였기 때문에 정확도의 비교는 무의미하며 x축, y축에 대해 4.56(10.93), 3.98(4.01) 화소 만큼의 오차가 발생하였다. 영사막의 중앙 지역에서 가장 작은 오차가 발생 하였으며 가장자리 특히나 y축 보다는 x축에서 더 큰 편차가 나타났다.

신뢰도는 앞서 설명한 실험을 진행하는 동안 카메라가 촬영한 전체 프레임에 대해 레이저 광점의 위치가 오검출되어 예상밖의 지점으로 커서가 이동한 프레임의 비로 표현되는데 그 결과를 표 1에 나타내었다. Kirstein 방식의 경우 레이저 광점의 검출을 위해 프레임간 차이를 이용하기 때문에



갑작스런 조명의 변화나 사용하는 프로그램의 배경 그림 변화 등에 취약하다.

표 1. 신뢰도

	Kirstein	Olsen	Proposed
total frame	6000	6000	6000
success	5821	6000	6000
failure	179	0	0
rate	97.02	100	100

잠복기와 유용도를 측정하기 위하여 또 다른 실험을 설계하였는데 실험 내용은 다음과 같다. 화면상의 임의의 장소에 버튼이 하나 출현할 때 사용자로 하여금 이 버튼 위로 레이저 포인터를 사용하여 커서를 재빨리 이동시킬 것을 요청했다. 커서가 버튼 위에 올라서면 버튼은 사라지고 다시 새로운 장소에서 버튼이 출현한다. 이러한 조작을 20회 반복하는데 걸린 총시간과 해당 실험을 진행하는 동안 알고리즘 상에서 레이저 광점을 검출하고 커서의 좌표를 계산하는데 걸리는 시간, 잠복기를 측정하였다. 이때의 결과를 표 2, 표 3에서 나타내었다.

표 2. 잠복기

	Kirstein	Olsen	Proposed
mean	0.01642	0.007154	0.004472
std	0.003003	0.003745	0.002238

표 3. 유용도

	Proposed	3D-mouse	Mouse
mean	43.93762	63.6062	37.3259
std	2.734373	9.546767	2.031728



그림 5 유용도 실험에 사용한 무선 마우스와 3D 마우스.  
Digital IBE사의 optical mouse와  
SICO사의 3D gyro pen mouse

유용도는 상용화된 마우스와 3D 마우스를 사용하여 앞서 설명한 동일한 과업수행에 걸린 총시간을 측정하였는데 마우스의 유용도가 평균적으로 가장 높았으며 편차 역시 작았다. 본 시스템과 같이 직관적인 인터페이스의 대안으로 주목 받는 3D 마우스의 경우 사용자간 편차가 상대적으로 높았는

데 이는 비슷한 형태의 기기를 다루어본 경험과 적응 여부가 원인이었다. 이에 비해 본 시스템은 평균과 편차에서 모두 상대적으로 훌륭한 성과를 보여주었다.



## 5. 결론

카메라 기반 레이저 포인터 시스템의 상호작용을 풍성하게 하는 새로운 아이디어가 제안되었다. 위 시스템에서 레이저 포인터의 기능을 본연의 지시 기능과 커서 이동 기능으로 구분함과 동시에 잠복기를 줄이기 위해 이른바 기능성 관심영역을 설정하였다. 이에 따른 새로운 상호작용을 소개하였고 본 시스템의 성능을 평가하기 위해, 신뢰도, 정확도, 잠복기 및 유용도를 측정하였다.



## 참고문헌

- [1] C. Kirstein and H. M. Iler, "Interaction with a Projection Screen Using a Camera-tracked Laser Pointer", in Proceedings of The International Conference on Multimedia Modeling, pp.191-192, 1998
- [2] J. Lapointe and G. Godin, "On-screen Laser Spot Detection for Large Display Interaction", in Proceedings of IEEE International Workshop on Haptic Audio Environments and their Applications, pp.72-76, 2005
- [3] R. Gonzalez and R. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey, USA, 2002, pp.108-110
- [4] D. Olsen Jr. and T. Nielsen, "Laser Pointer Interaction", CHI2001, pp.17-22, 2001
- [5] R. Sukthankar, R. Stockton, M. Mullin, "Self-Calibrating Camera-Assisted Presentation Interface", in Proceedings of International Conference on Automation, Control, Robotics and Computer Vision, pp.30-44, 2000
- [6] D. Cavens, F. Vogt, S. Fels, M. Meitner, "Interacting with the Big Screen : Pointers to Ponder", CHI2002, pp.678-679, 2002
- [7] K. Cheng and K. Pulo, "Direct Interaction with Large-Scale Display Systems using Infrared Laser Traking Devices", in Proceedings of the Asia-Pacific symposium on Information visualisation, Vol. 24, pp.67-74, 2003