

논문 2012-07-05

시선 인식을 이용한 로봇 인터페이스 개발

(Robot Control Interface Using Gaze Recognition)

박 세 현*
(Se Hyun Park)

Abstract : In this paper, we propose robot control interface using gaze recognition which is not limited by head motion. Most of the existing gaze recognition methods are working well only if the head is fixed. Furthermore the methods require a correction process per each person. The interface in this paper uses a camera with built-in infrared filter and 2 LED light sources to see what direction the pupils turn to and can send command codes to control the system, thus it doesn't need any correction process per each person. The experimental results showed that the proposed interface can control the system exactly by recognizing user's gaze direction.

Keywords : Gaze recognition, Interface, HCI, Medical robot, Pattern recognition

1. 서 론

일반적으로 우리에게 익숙한 인터페이스로는 키보드와 마우스가 있다. 하지만 최근에는 키보드, 마우스와 같은 방식에서 신체의 움직임 특성을 이용하는 방식으로 변화하고 있다. 이러한 방식과 같은 사람의 신체를 이용한 인터페이스는 직관적이고 단순한 방식이기 때문에 기존의 인터페이스를 이용하기 힘든 장애인도 쉽게 적응이 가능하고 장치를 이용하기 위해 따로 그 방법을 습득해야 하는 불편함도 줄일 수 있다. 따라서 사용자가 경험으로부터 별도의 학습 없이 사용할 수 있는 직관적 인터페이스에 대한 연구가 진행되고 있다.

그 예로 Nintendo사의 Wii, MS사의 Surface Computer, Sony사의 HoloWall등 세계적으로 유명한 회사에서도 이러한 인터페이스를 개발 발표하고 있다. 하지만 이러한 방법들은 특별한 인터페이스 장치를 보조적으로 사용한 방식으로써 장비가 고가라는 단점이 있다[1]. 따라서 최근에는 고가의 외부

장치 없이 카메라를 활용하는 비전 기반의 인터페이스에 관한 연구 역시 진행되고 있다.

기존의 비전 기반 인터페이스의 경우 여러 방식들이 있는데 그중 잘 알려진 방식으로는 일정한 패턴이 그려져 있는 마커 인식 인터페이스[2-3], 제스처 인식 인터페이스[4-6], 시선 인식 인터페이스[7-8]등으로 나누어지는데 일반적으로 비전 기반 인터페이스의 경우 빛에 민감하다는 단점이 있다. 그리고 마커 인식 인터페이스의 경우 사용자의 신체가 아닌 일정한 패턴이 그려져 있는 다른 이미지 마커가 필요로 한다는 단점이 있고, 제스처 인식의 경우 특정한 패턴을 따로 학습해야 한다는 단점이 있다. 마지막으로, 시선 인식 인터페이스의 경우 복잡한 교정 과정과 머리의 움직임에 많이 민감하다는 단점이 있다. 이렇듯 복잡한 사전 준비와 특정한 동작으로 인해 장애인들이 사용하기에는 매우 불편하다.

따라서 본 논문에서는 머리 움직임의 제한과 개인의 교정 과정이 불필요한 시선인식을 이용한 로봇제어 인터페이스를 제안한다. 제안된 시스템에서는 적외선 카메라와 적외선 광원을 이용하여 앞서 말한 기존의 시선 인식 인터페이스의 단점을 보완하고 다른 인터페이스를 제어하기 힘든 장애인들도 쉽게 인터페이스에 적응할 수 있는 인터페이스를 제작하였다.

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2011. 08. 18., 수정일 : 2011. 09. 30., 채택확정 : 2011. 11. 19.

박세현 : 대구대학교 정보통신공학부

※ 본 논문은 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임.

II. 시선인식

제안된 시선 인식을 이용한 로봇제어 인터페이스는 한 대의 적외선 필터가 장착된 카메라와 2개의 광원(IR LED집합)을 이용하여 먼저 동공을 검출하여 중심점을 구하고, 그 중심점을 이용하여 반사점이 있을만한 영역을 지정 한 후 반사점들의 중심점을 검출한다. 구해진 중심점들의 관계로 현재 시선이 향하는 방향을 인식하고 그 방향에 해당하는 명령어를 시스템으로 전달하여 시스템을 제어하게 된다. 그림 1은 시선 인식을 하는 과정을 나타낸 것이다.

1. 동공 검출

제안된 시스템의 동공 검출을 위하여 먼저 카메라로부터 현재 프레임 이미지를 얻는다. 이 영상에서 필요한 정보는 동공과 두 반사점이다. 따라서 전처리 과정으로 먼저 입력 이미지를 그레이 이미지로 변환한 후 모폴로지(morphology) 알고리즘을 이용하여 잡음을 제거한다. 전처리 과정을 거친 이미지를 실험을 통해 얻어진 동공에 해당하는 임계값으로 이진화하여 이진 이미지를 얻는다. 이진 이미지에서 각각의 객체를 구분하기 위해 레이블링 알고리즘을 이용하여 객체들을 나타낸다. 그렇게 찾은 객체는 동공 후보 영역으로 분류 된다. 동공 후보 영역이라는 것은 라벨을 매긴 객체들을 말하는데 이 객체들은 머리카락과 동공, 콧구멍, 기타 잡음이다. 우리는 이 중에서 동공 영역이 필요하기 때문에 각 영역들 중에서 최종 동공 영역을 찾아야 한다.

이때 Fitting of Ellipses 알고리즘과 사이즈 필터링 알고리즘이 사용된다. 우선 Fitting of Ellipses 알고리즘을 이용하여 동그란 모양의 후보 영역을 찾고 그 외의 후보 영역은 제거 한다. 그리고 난 후 사이즈 필터링 알고리즘을 이용하여 남은 동공 후보 영역 중 머리카락의 경우 동공에 비해서 매우 큰 영역을 차지하기 때문에 사이즈 필터링으로 동공 후보 영역 중 큰 후보 영역을 제거 함으로써 머리카락 부분을 제거 할 수 있고, 기타 잡음의 경우는 머리카락 부분과는 반대로 동공에 비해 작은 부분을 차지하므로 동공의 크기에 비해 작은 후보 영역을 제거 하게 되면 기타 잡음을 제거 할 수 있다. 이제 남은 후보 영역들은 동공과 콧구멍 부분인데, 콧구멍의 경우 동공의 위치 보다 낮은 위치에 존재하므로 남은 후보 영역들의 중심 값의 y값 중에서 가장 위에 위치한 후보 영역을 최종적으로 동

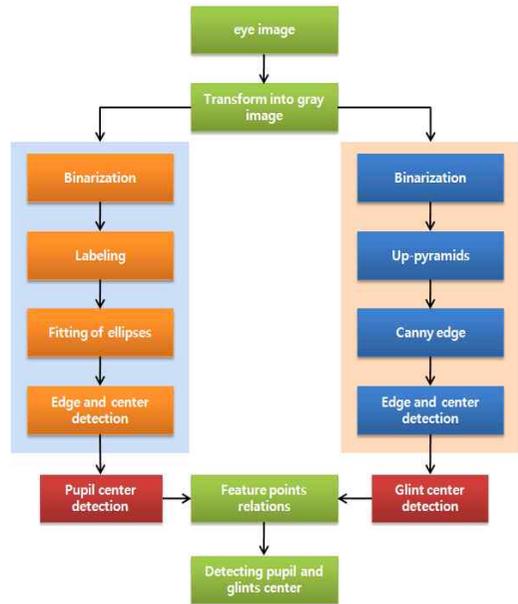


그림 1. 시선 인식 과정

Fig. 1 Gaze Recognition Process

공영역이라고 결정한다. 이렇게 찾은 동공 영역의 외곽 영역과 중심점을 검출한다.

2. 반사점 검출

II.1의 전처리 과정을 거친 이미지를 검출된 동공의 중심점을 기준으로 반사점이 있을 만한 영역을 설정한다. 그 영역을 반사점에 해당하는 임계값으로 이진화 시킨다. 얻어진 이진 이미지의 경우 반사점이 너무 작아서 구분이 되기 힘들기 때문에 가우시안 피라미드 분해를 통해 업-샘플을 사용한다. 여기에 Canny Edge를 이용해서 경계점을 검출하고, 레이블링 해서 각 영역들을 구분하게 된다. 이때 역시 사이즈필터링을 사용하여 반사점 크기가 될 수 없는 크기의 영역은 제거하게 된다. 이렇게 해서 찾은 반사점 후보 영역들 중에서 동공 중심점과의 거리가 가장 가까운 두 개의 영역을 반사점으로 최종 선택하고 두 반사점의 중심점을 검출 한다.

3. 시선방향 검출

시선방향은 중심점들의 관계에서 검출한다. 두

반사점들의 중심점은 항상 고정된 눈의 위치에서 검출이 되기 때문에 앞에서 검출한 두 반사점들의 중심점은 고정되어 있고 동공을 움직임으로써 현재 시선 방향을 결정하게 된다. 이 방법은 항상 고정된 두 반사점이 있기 때문에 머리 움직임에 상관없이 현재 시선이 향하는 방향을 검출할 수 있다. 시선검출방법은 구해진 동공의 중심과 두 반사점의 중심의 거리 관계를 이용하여 그림 2와 같이 두 반사점 1, 2를 잇는 선에 동공의 중심점으로부터 수선의 발을 내린 점까지의 길이 h 는 a , b 의 길이와 시선간의 관계가 선형이라고 가정하면, h 는 사용자가 바라보고 있는 스크린 상의 수직축의 주시점 위치를 예측하는데 사용 될 수 있다. 마찬가지로 a 나 b 값은 주시점의 스크린 상의 수평축 위치를 예측할 수 있다. 이와 같은 가정과 특징점들의 관계를 통해 스크린 상에 사용자 어디를 보고 있는지 찾을 수 있다 [7]. 이를 통해 시선방향을 검출한다.

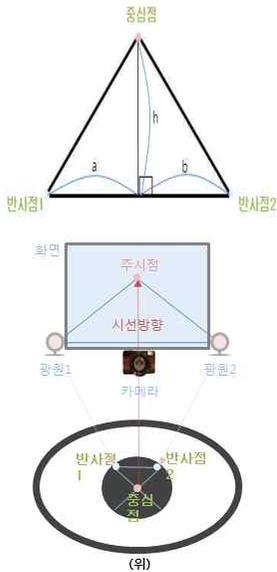


그림 2. 동공의 중심과 두 반사점의 거리관계
Fig. 2 Relations of pupil and reflection points

III. 제안된 인터페이스 시스템

본 논문에서 구현한 사용자 인터페이스 화면은 그림 3과 같다. 사용자 인터페이스에서 이용되는 시선 인식 및 추적은 적외선 필터가 장착된 카메라와 두 대의 광원 IR LED 집합을 사용한다. 두 대의 광원으로 사용자의 각막 표면에 두 개의 반사점을 생

성하고, 중심점을 구한뒤, 동공의 중심점과 두 반사점의 중심을 이용하여 시선 추적을 한다. 이렇게 만들어진 시선 인식 및 추적 모듈을 그림 3의 시선 인식 및 추적 부분에서 지금 현재 시선 인식 및 추적의 상태를 보여준다. 그리고 휠체어 방향 제어 버튼 부분에 존재하는 버튼의 경우 직접 마우스로 클릭하여도 되고 그림 4에서처럼 시선 인식 및 추적으로 찾은 시선을 화면에 매칭 시켜 현재 시선이 어떠한 버튼에 머무르는지에 따라서 해당 버튼이 0.5초 마다 숫자가 1씩 증가하면서 1.5초가 되면 파란색으로 변경되고 클릭과 같은 효과가 나타나게 된다.

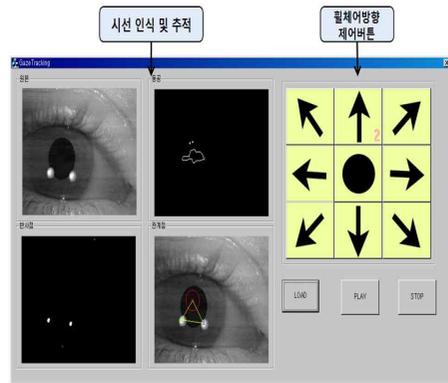


그림 3. 사용자 UI 스냅샷
Fig. 3 User Interface Snapshot

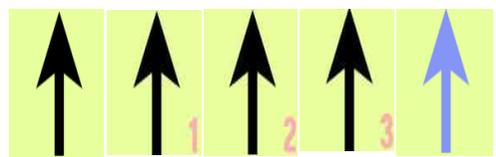


그림 4. 화살표 모양
Fig. 4 Arrow

표 1은 본 논문에서 구현된 전동휠체어의 사용 가능한 9개의 명령어들을 보여준다.

시선 추적은 그림 5와 같이 총 4단계로 나눌 수 있다. 먼저 오픈 라이브러리 OpenCV를 이용해 적외선 필터가 장착된 카메라로부터 눈 영상을 얻는다. 다음으로 첫 단계에서 얻어진 눈 영상에서 먼저 동공 부분을 임계값을 이용한 이진화를 시키고, 열림, 닫힘 연산으로 노이즈를 제거 한 후, 미디안 필터링을 적용시킨다.

표 1. 명령어 정의
Table 1. Command Definition

명령어	내용
STOP	멈춰라
GO STRAIGHT	진진하라
BACK STRAIGHT	후진하라
TURN LEFT	제자리에서 왼쪽 돌아라
TURN RIGHT	제자리에서 오른쪽으로 돌아라
GO LEFT	진진하면서 왼쪽으로 돌아라
GO RIGHT	진진하면서 오른쪽으로 돌아라
BACK LEFT	후진하면서 왼쪽으로 돌아라
BACK RIGHT	후진하면서 오른쪽으로 돌아라



그림 5. 시선 추적 단계
Fig. 5 Gaze Tracking

동공 외에 다른 영역을 구분 해주기 위해서 라벨링을 하고 무게 중심을 구하는 방법을 이용해 동공의 중심을 구하게 된다. 그렇게 구해진 동공을 중심으로 반사점 영역의 범위를 설정하게 된다. 그 이

유는 반사점의 경우 동공 영역의 주위에 형성 되기 때문이다. 반사점 역시 임계값을 이용한 이진화를 시키고 노이즈 제거를 위한 열림, 닫힘 연산을 한다. 그 다음으로 Canny 경계 검출을 하고 그렇게 찾아진 두 개의 반사점의 중심을 구하게 된다.

IV. 실험결과

제안된 시스템은 일반적인 진동 휠체에 시선 인식을 위해 적외선 필터가 장착된 HyVision HVR-2300CA 카메라 1대와 2개의 광원(IR LED 집합)을 사용하였다. 개발 환경으로는 윈도우XP 기반의 쉐타엄 듀얼코어 2.16GHz CPU와 Microsoft Visual C++ 6.0, HVR-2300CA SDK, OpenCV 1.1 라이브러리를 사용하여 개발하였다. 그림 6은 9가지 명령어에 대해서 인식한 결과를 나타낸다.

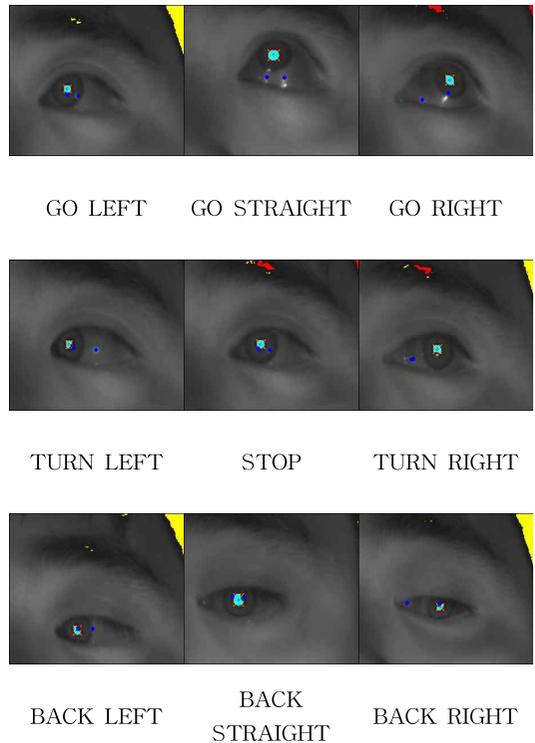


그림 6. 시선 인식 예
Fig. 6 Gaze Recognition Examples

제안된 시스템은 적외선 필터가 장착된 카메라로부터 이미지가 들어오면 그레이 이미지로 변환 후 이진화와 모폴로지, 레이블링 알고리즘을 사용하

여 동공 후보 영역을 찾고 후보 영역의 크기와 위치에 따라서 최종 동공 영역을 검출한다. 검출된 동공 영역의 중심을 찾고 그 점을 중심으로 반사점이 있을 만한 영역을 설정한다. 다시 앞의 그레이 이미지에서 위에서 찾은 반사점 영역을 떼어 낸다. 그리고 다시 이진화, 레이블링 알고리즘을 사용하여 반사점 후보 영역을 찾고 후보 영역의 크기와 동공의 중심점과의 거리에 따라서 최종 반사점 2개를 검출한다. 이렇게 해서 찾아진 동공과 반사점 2개의 위치 관계에 따라서 9가지의 명령어로 휠체어를 제어한다.

시선인식 인터페이스를 통해 휠체어에 명령어를 전달하면 명령어에 따라 휠체어가 움직이게 된다.

제안된 시스템은 다양한 사용자와 다양한 환경에서도 잘 동작되어야 한다. 따라서 시선인식 인터페이스의 효율성을 증명하기 위하여 10명의 사용자가 9가지의 명령어를 각각 20번씩 명령어를 실행하도록 한 실험 결과 명령어의 인식률은 91.2%를 보였다. 표 2는 시선 인식 인터페이스의 명령어를 사용자 별로 20번 명령어를 내렸을 때 몇 번 성공하였는지에 대한 결과를 나타낸 것이다. 실험 결과 명령어 중 각 대각선 부분인 GO LEFT와 GO RIGHT, BACK LEFT, BACK RIGHT의 인식률이 다른 명령어의 인식률 보다 떨어지는 것을 알 수 있다. 명령어 GO LEFT와 GO RIGHT는 눈을 이동시키면서 휠자위에 반사점이 퍼져서 반사점의 측정이 불투명하게 되는 경우가 발생하였고, BACK LEFT와 BACK RIGHT의 경우는 눈동자가 아래로 향하면서 눈꺼풀이 내려와서 반사점을 가리는 경우가 발생하였다.

V. 구현 및 응용사례

제안된 시선 인식 인터페이스를 활용하여 로봇 제어 및 다양한 응용에 적용해 보았다.

1. 지능형 휠체어 시스템(의료보조 로봇)

중증 장애인을 위한 제어방법으로 휠체어 시스템(의료보조 로봇)의 조이스틱을 대체할 수 있다 지능형 휠체어는 시선을 인식하고 추적하는 시선인식 및 추적 모듈, 명령을 하달받기 위한 사용자 인터페이스, 장애물 감지 시 장애물 회피를 위한 장애물 회피 모듈, 주변의 장애물을 감지하는 초음파 센서 모듈, 전동휠체어의 모터를 제어하기 위한 모터 제어 모듈로 구성된다. 먼저 적외선 카메라로 눈을 인

표 2. 시선 인식 실험 결과

Table 2. Gaze Recognition Experimental Results

	GO STRAIGHT	BACK STRAIGHT	TURN LEFT	TURN RIGHT	STOP	GO LEFT	GO RIGHT	BACK LEFT	BACK RIGHT
GO STRAIGHT	200	0	0	0	0	0	0	0	0
BACK STRAIGHT	0	200	0	0	0	0	0	0	0
TURN LEFT	0	0	200	0	0	0	0	0	0
TURN RIGHT	0	0	0	200	0	0	0	0	0
STOP	0	0	0	0	200	0	0	0	0
GO LEFT	6	0	20	0	4	170	0	0	0
GO RIGHT	12	0	0	12	6	0	170	0	0
BACK LEFT	0	0	32	0	18	0	0	150	0
BACK RIGHT	0	0	0	36	2	0	0	0	152

식하고 추적하여 사용자 인터페이스를 통하여 정해진 9가지 명령어 중 하나를 선택한다. 모터 제어 모듈은 모터 컨트롤 보드에 연결되어 있는 두 개의 좌우 모터들을 명령어에 따라 정해진 방향으로 이동하도록 작동 된다. 이때 센서 컨트롤 보드는 전동 휠체어 주변에 부착된 센서들을 통해 주기적으로 벽 또는 장애물과의 거리를 측정하게 되고, 장애물 회피 모듈을 동작시켜 장애물을 회피하게 된다. 그림 7은 개발한 휠체어시스템을 보여준다.

2. 로봇 인터페이스

제안된 인터페이스는 의료로봇의 중증장애인 안 내용으로 활용할 수 있다. 그림 8은 의료 로봇에 활용 가능한 무인 집수 시스템 로봇으로 시스템의 비전기반 개발 환경으로는 윈도우XP 기반의 펜티엄 듀얼코어 2.16GHz CPU와 Microsoft Visual C++ 6.0, OpenCV 1.1 라이브러리를 사용하여 개발하였

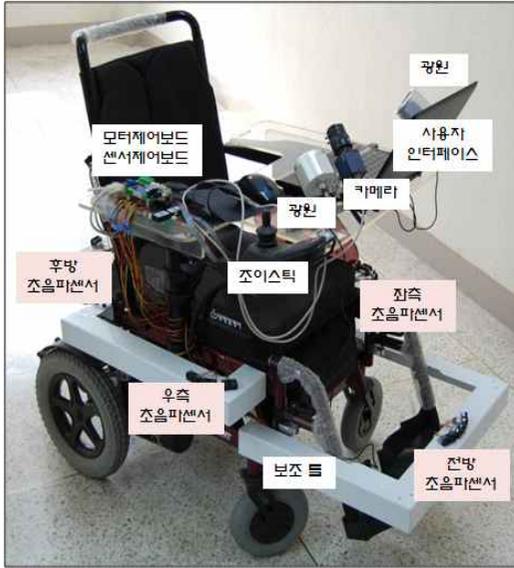


그림 7. 휠체어 시스템
Fig. 7 Wheelchair System

다.

의료용 로봇의 하드웨어 구성은 모터, 모터 제어 보드(SDQ-DA04EX), 센서 제어보드, 초음파 센서, 웹캠으로 구성된다. 센서제어보드가 초음파 센서를 제어하고 거리를 측정하여 장애물을 회피하도록 하고, 캠을 통한 비전센서는 얼굴을 추출, 인식하고 간단한 시선인식을 적용하여 중증장애인을 위한 인터페이스를 적용하였다. 중증장애인이 로봇제어가 어려운경우의 간단한 인터페이스 대체 능력을 가질 수 있다. 로봇은 중증장애인의 제어가 필요없는 경우에는 센서 기반으로 자율주행하며, 자율주행시 초음파 센서를 기반으로 충돌 회피알고리즘을 이용하여 의료서비스를 수행한다. 로봇의 각각의 구성과 설명은 그림 8과 같다.

3. 미로 찾기 게임

OpenGL을 이용한 간단한 미로 찾기 게임으로 시선 인식을 이용한 제어 인터페이스를 이용하여 게임의 인터페이스 동작을 대치할 수 있다. 그림 9는 게임의 스크린 tit을 나타낸다.

VI. 결 론

본 논문에서는 머리 움직임의 제한과 복잡한 교정 과정이 없는 시선 인식을 이용한 로봇 제어 인터페이스를 구현하였다. 구현한 인터페이스는 로봇

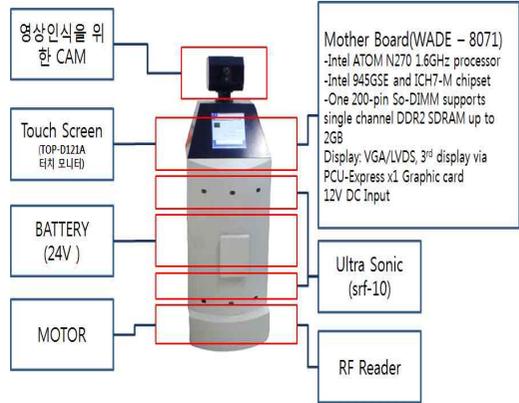


그림 8. 개발한 의료용 서비스 로봇
Fig. 8 Medical Service Robot



그림 9. 미로 찾기 게임
Fig. 9 Maze Game

및 게임에 적용하여 실용성이 뛰어난 것을 입증하였다.

제안된 시스템의 효율성을 증명하기 위해 10명의 다양한 사용자를 대상으로 각 명령어에 대한 인터페이스를 실험하였다. 실험 결과 적외선필터를 사용하여 조명이나 빛의 영향을 받지 않고 시선인식이 강건하게 작동한다는 것을 보여 주었다.

또한, 이를 활용하여 미로 찾기와 같은 게임에서의 인터페이스와 전동 휠체어 시스템에 적용하여 일반 응용 프로그램부터 게임, 하드웨어 분야 까지 많은 부분에 활용할 수 있음을 보였다.

참고 문헌

- [1] 최승억, 정종우, 서영완, “테이블탑기기와 인터랙티브 벽면 디스플레이의 기술동향과 응용,” 정보과학회지 Vol. 26, No. 3, pp.5-14, 2008.
- [2] Y. Nakazato, M. Kanbara, N. Yokoya, “Wearable augmented reality system using invisible visual markers and an IR camera,” Proceedings on International Symposium on Wearable Computers, pp.198-199, 2005.
- [3] Y. Kishino, M. Tsukamoto, Y. Sakane, S. Nishio, “Realizing a visual marker using LEDs for wearable computing environment,” Proceedings on International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, pp.314-319, 2003.
- [4] Q. Chen, N.D. Georganas, E.M. Petriu, “Realtime Vision-based Hand Gesture Recognition Using Haar-like Features,” Proceedings on IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp.1-6, 2007.
- [5] T. Saitoh, N. Takahashi, “Development of an Intelligent Wheelchair with Visual Oral Motion,” Proceedings on 16th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication, pp.145-150 2007.
- [6] L.M. Bergasa, M. Mazo, A. Gardel, R. Barea, L. Boquete, “Commands generation by face movements applied to the guidance of a wheelchair for handicapped people,” Proceedings on International Conference of Pattern Recognition, Vol. 4, pp.4660-4663, 2000.
- [7] 박진우, 권용무, 손광훈, “동공과 글린트의 특징점 관계를 이용한 시선 추적 시스템,” 방송공학회논문지, Vol. 11, No. 1, pp.80-90, 2006.
- [8] K.H. Kim, H.K. Kim, J.S. Kim, W. Son, S.Y. Lee, “A biosignal-based human interface controlling a power-wheelchair for people with motor disabilities,” ETRI Journal, Vol. 28, No. 1, pp.111-114, 2006.

저자 소개

박세현



1995년 경북대 컴퓨터공학과 학사, 1997년 경북대 컴퓨터공학과 석사, 2000년 경북대 컴퓨터공학과 박사, 현재, 대구대학교 정보통신공학부 교수, 2010년 (미) CSUMB 방문교수

관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 생체인증
Email: sehyun@daegu.ac.kr