

화면 응시 제어를 위한 유한 상태 기계 설계

문 봉 희*

A Design of the Finite State Machine to Control User's Gaze on a Screen

Bonghee Moon*

요 약

화면을 모니터링하고 있는 시스템에서 사용자가 시선을 화면에 집중하고 있는가를 판단하고 제어할 수 있는 유한 상태 기계를 설계 및 구현하였다. 유한 상태 기계는 화면을 응시하고 있는 눈동자의 상황에 대한 집합과 화면에 집중하고 있는 상태의 집합을 이를 기반으로 구성되었다. 특히 상태 집합을 3종류-주요 상태, 예비 상태, 잠재 상태로 분류하였다. 이전의 상황과 현재의 상황을 연계하여 현 상태를 판단하는 상황 이력을 이용함으로써 판단의 정확도를 높였다. 이 유한 상태 기계에 대하여, 기존의 눈동자 검출 방법에서 얻은 눈동자 위치 데이터를 이용하여 시물레이터를 구현하고 작동과정의 모니터링을 통하여 검증하였다. 실제 눈동자의 이미지를 바탕으로 실험한 결과로 상황 이력을 이용한 판정은 현재의 응시 상태가 1회성 또는 장기적인 상태인가를 판단할 수 있는 장점을 보였다.

▶ Keyword : 유한상태기계, 상황 이력, 예비상태, 잠재상태, 눈동자 검출, 시물레이터

Abstract

A finite state machine was designed to control user's gaze on the screen when the user is monitoring the . It consists of a set of situations where pupils are gazed and a set of states which decide the gaze on a screen or sleeping. The states were especially classified into main states, pre-states and potential states. The machine uses the situation history, which decide current state using continuous previous situation and current situation, and improves the accuracy to control the gaze on a screen. We implemented the machine with the data which were get using a pupil detection method, and tested the verification of the system with monitoring operations. The experimentation using the method which get date from real images shows advantage of decision whether it is temporary gaze or long-term gaze.

• 제1저자 : 문봉희 • 교신저자 : 문봉희

• 투고일 : 2010. 12. 01, 심사일 : 2011. 01. 02, 게재확정일 : 2011. 01. 26.

* 숙명여자대학교 컴퓨터과학부 교수(Dept. of Computer Science, Sookmyung Women's University)

※본 연구는 숙명여자대학교 2010년 교비연구비 지원에 의하여 수행되었음.

▶ Keyword : finite state machine, situation history, pre-state, potential state, pupil detection, simulator

I. 서 론

이미지나 동영상은 텍스트보다도 많은 정보를 함축하고 있기 때문에 여기에서 객체를 추출해내고 분석하는 일은 매우 중요한 일이 되고 있다. 디지털화된 이미지나 영상의 정보를 통합적인 의미를 파악하는 것이 쉽지가 않다. 사람은 이미지나 동영상을 볼 때 2차원이나 3차원적인 분석이 용이하나 컴퓨터는 저장된 디지털 정보, 즉 이진정보들을 분석하여 함축된 정보를 도출해야 하므로 어렵다. 영상에서 여러 객체들 중에서 움직이는 객체들을 검출하고 이를 인식하여 객체의 확인을 하는 연구들과 얼굴의 검출이나 눈의 영역을 검출하는 연구들이 많이 있어왔다. 이를 보안이나 모니터링 시스템에 활용하려는 움직임이 활발하다.

특히, 보안 시스템이나 사이버 강의에서 사용자가 화면을 집중하고 있는지 또는 졸음 등에 의해서 눈을 감고 있는지를 판단하여 경고 같은 상황 판단을 하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는, 기존에 연구된 얼굴 탐지와 눈 탐지 기법[1]에 기반한 눈동자의 위치와 눈의 개폐를 파악하는 방법[2]을 이용하여 눈동자의 위치 상황들을 정의하고 이전 눈의 화면 응시 상태와 현재의 화면 응시 상태를 비교 판단함으로써 사용자의 화면 응시 상태를 판단하는 유한 상태 기계 시스템을 설계하였다. 시스템의 검증을 위하여 시뮬레이터를 구현하고 작동과정을 모니터링하여 1회성 상황보다는 연속적인 상황에 판단, 제어하는 것을 확인하였다.

상태 전이에 따라서 작동하는 이 시스템은 주요 상태(main state), 예비 상태(pre-state), 잠재 상태(potential state)로 분류하고 상황 이력(situation history)을 관리함으로써 화면 응시에 대한 판단의 정확도를 높였다. 화면 응시 판단 유한 상태 기계 시스템은, 화면 정면을 향한 얼굴 이미지에 한정하여 작동하므로, 사이버 강의의 집중이나 보안 시스템을 감시하는 사용자들처럼 한 쪽 방향만을 응시하는 작업에 대한 관리에 적용할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 졸음 등과 같이 눈의 개폐정도를 적용해야 할 분야에 유용할 것으로 본다.

논문의 구성은 제 2장에서 관련 연구들을 살펴보고 제 3장에서 화면 응시 판단을 위하여 입력 집합과 상태 집합, 그리고 상태 전이 함수를 정의하여, 이들의 관계로 형성되는 유

한 상태 기계를 설계하였다. 제 4장에서는 3장에서 설계한 유한 상태 기계에 대한 구현과 모니터링을 통한 검증에 대해서 설명하고, 제 5 장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

시선을 감지하여 이를 이용하기 위한 연구로는 안전운전이 나 졸음방지 또는 시선을 이용한 제어 시스템에 관련된 연구들이 많다. 눈과 눈동자의 위치를 파악하는 연구 눈꺼풀 거리와 눈 감는 빈도수에 따른 운전 피로도를 측정하는 연구[12]와 눈 위치를 윤곽 검출과 휴리스틱 법칙에 따라 검출하고 학습을 시켜 운전자에게 경고를 하는 연구[13], 얼굴 검출, 눈 검출, EyeMap을 이용하여 눈동자 검출하여 눈 상태 분석, 졸음 판단하는 연구[14], 원형 객체를 이용하여 눈동자 영역을 추출하고 시선추적을 통하여 명령을 내릴 수 있는 간접 인터페이스 시스템 개발 연구[7]들이 있다. 또한 시선 추적의 연구로 공막 인식을 이용한 연구[15]와 시선 방향 등을 분류한 연구[16, 17, 18]들도 있다.

그러나, 이 연구들은 현재의 눈이나 눈동자를 검출하고, 현재의 상태만을 갖고 판단하고 있다. 현재 상태를 갖고 한번의 판단으로 화면 응시 상태를 결정하는 것은 판정 오류의 확률이 높다. 분기 예측 방법들[20, 21]에서는 유한 상태 기계를 이용하여 이전 상태에서 전이되도록 작용한 입력을 고려하고 다음의 입력에 대한 상태를 결정할 수 있는 경로 이력(path history)을 사용하고 있다. 이전에 발생했던 분기의 실행 또는 미실행을 시행한 상태를 기억하였다가 다음 시행 때 반영하여 적중 확률을 높이고 있다.

본 연구에서는 분기 예측 방법의 응용으로 이전의 화면 응시 상태와 현재의 응시 상태를 연계한 이력관리를 이용하는 유한 상태 기계를 접목시켜서 응시 여부를 판단하는 시스템을 설계하였다.

설계된 시스템의 검증을 위한 시뮬레이터에는 눈의 개폐와 눈동자의 위치 정보가 필요하다. 이를 얻을 수 있는 방법으로는 얼굴 검출에 관련하여, 동작변환 영상에서 AdaBoost 알고리즘으로 얼굴을 검출[3]하거나 영상에서의 color 정보로 피부색 추출하여 이들의 구성요소의 색상 특징을 이용하여 검출하는 연구[4, 5, 6]들이 있다. 눈 검출에 관련된 연구로는 눈 검출에 원형 Hough 변환 방법을 이용하여 원형의 두 눈

검출 방법[8] 등이 있다. 눈동자 검출은 홍채인식에 중점을 둔 연구들이 많으며, 이들로써 모폴로지 제거 기술과 빠른 눈동자 검출 방법을 이용한 홍채 검출연구[9], 홍채 이미지에서의 비 원형 눈동자 지역화 방법을 제시한 연구[10], 2개의 조명을 이용하여 위치 보정에 의한 눈동자 검출 방법[11]이 있다.

본 연구에서는 TrackEye 프로그램[1]을 사용하여 검출된 얼굴과 눈 검출 이미지를 이용하여 눈동자의 위치 판단과 눈의 개폐를 판단하는 방법[2]을 사용하였다. 이 방법으로 얻어 낸 눈동자의 위치 정보를 유한 상태 기계의 시뮬레이션을 하는데 기본 자료로 활용하였다. 실제 눈동자의 이미지를 바탕으로 실험한 결과로 이전의 시선 응시 상태가 다음의 시선 응시 상태와 연계하여 판정함으로써 현재의 응시 상태가 1회성 또는 장기적인 상태인지를 판단할 수 있어서 판단의 정확도를 높였다.

III. 화면 응시 판정 유한상태기계

1. 화면응시판정 유한상태기계(M_{GS})의 정의

일반적인 유한상태기계는 식(1)과 같이 정의된다[19].

$$M = (\Sigma, S, \delta, s_0, F) \tag{1}$$

Σ : 유한한 입력 집합
 S : 유한하고 공집합이 아닌 상태들의 집합
 δ : 상태전이 함수 ($S \times \Sigma \rightarrow S$)
 s_0 : 초기 상태
 $F \subseteq S$: 종료 상태의 집합

화면을 응시하고 있는가를 판단하기 위하여 현재의 눈동자의 상황(situation)을 인식하고 이를 기반으로 눈의 응시 상태(state)를 결정해야 한다. 그러므로 유한한 입력 집합으로서는 화면을 응시하고 있는 눈동자들의 상황의 집합(SI, set of situations)이어야 하고, 발생한 상황에 대하여 눈의 응시 상태를 결정하는 집합(ST, set of states)으로 구성되는 화면 응시 판정 유한 상태 기계(M_{GS}, finite state Machine for Gaze on Screen)를 식(2)와 같이 정의할 수 있다.

상황 집합, 상태 집합들과 이를 기반으로 상태전이함수를 다음 절들에서 정의하며, 초기 눈의 응시 상태인 s₀와 종료 상태 집합인 F는 상태 전이 함수를 정의(4절)하면서 같이 설명한다.

$$M_{GS} = (S_I, S_T, \delta, s_0, F) \tag{2}$$

S_I : 유한한 눈동자의 화면 응시 상황 집합
 S_T : 유한하고 공집합이 아닌 눈의 응시 상태들의 집합
 δ : 상태전이 함수 ($S_T \times S_I \rightarrow S_T$)
 s_0 : 초기 눈의 응시 상태
 $F \subseteq S_T$: 종료 상태의 집합

2. 눈동자의 화면 응시 상황 집합(S_I)의 정의

화면을 응시하는 눈의 상태는 눈동자의 위치를 근거로 판단할 수 있다. 화면의 4 모퉁이를 기준으로 하여 수평과 수직 한계선을 설정한다. 상한(上限) 경계선과 좌한(左限) 경계선이 만나는 점(left-top)을 응시할 때의 눈동자 위치값, 상한 경계선과 우한(右限) 경계선이 만나는 점(right-top)을 응시할 때의 눈동자 위치값, 하한(下限) 경계선과 좌한 경계선이 만나는 점(left-bottom)을 응시할 때의 눈동자 위치값, 하한 경계선과 좌한 경계선이 만나는 점(right-bottom)을 응시할 때의 눈동자 위치값을 구하여 화면 집중 영역을 설정하는 한계 위치값으로 활용한다.

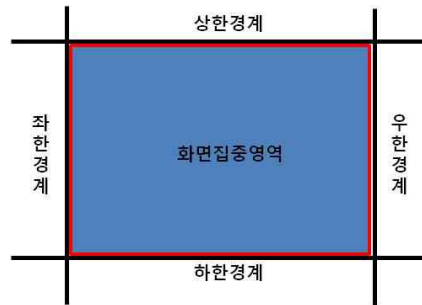


그림 1. 화면의 영역 구성
Fig. 1. Range of gaze on a screen

<그림 1>과 같이 구성된 화면의 영역에서 화면 응시 상황들은 화면집중 영역을 응시하는 상황(RG, Regular Gaze)과 한계를 벗어난 영역을 응시하는 상황(IG, Irregular Gaze)으로 나눌 수 있다. 또한 졸거나 눈 깜박임으로 인한 눈을 감고 있는 미응시 상황(CE, Closed Eye)의 3가지 상황으로 분류, 정의할 수 있다. 상황의 집합은 다음 식으로 정의한다.

$$S_I = \{RG, IG, CE\} \tag{3}$$

3. 눈의 상태 집합(S_T)의 정의

화면 응시 여부를 판단하기 위하여 유한 상태 기계에서 있을 수 있는 눈의 상태는 판단의 결정적 역할을 하는 주요상태

(main state), 상황 이력(situation history)을 관리하기 위하여 같은 상황이 한 번 더 발생하는지를 점검하기 위한 예비 상태(pre-state)와 현 상황에서 다른 상황이 발생하였을 때 다시 이전 상황이 발생되는가를 점검하는 잠재 상태(potential state)로 분류하였다.

주요 상태(main state)는 3가지로, 화면집중영역을 응시하고 있는 상태(GIS, Gaze on In-Screen), 화면집중영역을 응시하지 않고 있는 상태(GOS, Gaze on Out-Screen) 및 졸거나 눈 깜박임으로 인한 눈을 감고 있는 상태(SLP, Sleep)로 구분된다.

그러나, 현 상황에 따라서 주요 상태 중 하나의 상태를 결정하는 것은 눈의 응시 상태를 판단하기에는 정확도가 낮으므로 이전 상황의 이력(situation history)을 한 번 더 확인하여 상태를 결정함으로써 정확도를 높일 수 있다. 예를 들어 한 번의 눈 깜박임으로 인하여 눈을 감고 있다가 졸고 있다는 판단하는 오류를 일으킬 확률이 높다. 그러므로 이전의 연속된 상황들과 현 상황을 연계하여 판단한 후 상태를 결정하는 것이 정확성을 높이게 된다.

본 연구에서는 임의의 주요 상태에서 다른 상황이 발생하여 다른 주요 상태로의 판단이 필요하면 한 번 더 확인을 하기 위한 예비 상태(pre-state)를 두었다. 즉, 예비 GIS(PGIS, Pre-GIS) 상태, 예비 GOS(PGOS, Pre-GOS) 상태와 예비 SLP(PSLP, Pre-SLP) 상태이다. 예비 상태에서 이전에 발생되었던 상황이 또 일어나면 이 상황에 맞는 주요 상태로 전이된다. 예로 GOS 상태에서 RG 상황이 일어나면 PGIS 상태가 되며, 다시 RG 상황이 일어나면 GIS 상태로 전이된다. 예비 상태에서 이전에 발생되었던 상황과 같지 않은 상황이 발생하면 이에 맞는 예비 상태로 전이된다. 예로, GOS 상태에서 RG 상황이 일어나면 PGIS 상태가 되며, 다시 CE 상황이 일어나면 예비상태인 PSLP 상태로 전이된다.

또한 주요 상태에서 다른 상황이 일어나지만 이전 상황과 같은 상황이 발생되면 이전 상태로 전이가 되는 잠재 상태(potential state)들이 6개가 존재한다. GOS 상태에서 RG 상황이 일어난 상태(RGOS)와 CE 상황이 일어난 상태(CGOS)가 있다. GIS 상태에서 IG 상황이 일어난 상태(IGIS)와 CE 상황이 일어난 상태(CGIS)이다. SLP 상태에서 RG 상황이 일어난 상태(RSLP)와 IG 상황이 일어난 상태(ISLP)이다.

식(4)~식(7)과 같이 상태의 집합(S_T)은 주요 상태의 집합(S_{MS}), 예비 상태의 집합(S_{PR})과 잠재 상태의 집합(S_{PS})으로 정의한다.

$$S_T = \{S_{MS}, S_{PR}, S_{PS}\} \quad \text{식(4)}$$

$$S_{MS} = \{GOS, GIS, SLP\} \quad \text{식(5)}$$

$$S_{PR} = \{PGOS, PGIS, PSLP\} \quad \text{식(6)}$$

$$S_{PS} = \{RGOS, CGOS, IGIS, CGIS, RSLP, ISLP\} \quad \text{식(7)}$$

4. 화면 응시 판정 유한상태기계의 전이함수(δ)

본 연구의 화면을 응시하고 있는가를 판정하는 유한상태기계(M_{GS})의 상태 전이 함수(δ , state transition function)는 상태 집합(S_T)과 눈동자의 화면 응시 상황 집합(S_i)의 곱으로써 만들어지므로, 상태 전이표(state transition table)를 <표 1>~<표 3>과 같이 정리할 수 있다.

<표 1>은 3가지 주요 상태와 3가지 눈동자의 응시 상황에 따라 전이되는 9가지 상태 전이함수이며, <표 2>는 3가지 예비 상태에서 3가지 눈동자의 응시 상황에 따라 전이되는 9가지 전이함수를 나타낸 것이다. <표 3>은 6가지 잠재 상태와 상황 집합에 의하여 일어나는 18개의 전이를 나타낸 것이다.

표 1. 주요상태에서의 상태전이표
Table 1. State Transition Table with Main States

이전 상태(ST)	상황(S)	다음 상태(ST)
GIS	RG	GIS
	IG	IGIS
	CE	CGIS
GOS	RG	RGOS
	IG	GOS
	CE	CGOS
SLP	RG	RSLP
	IG	ISLP
	CE	SLP

표 2. 예비상태에서의 상태전이표
Table 2. State Transition Table with Pre-States

이전 상태(ST)	상황(S)	다음 상태(ST)
PGIS	RG	GIS
	IG	PGOS
	CE	PSLP
PGOS	RG	PGIS
	IG	GOS
	CE	PSLP
PSLP	RG	PGIS
	IG	PGOS
	CE	SLP

표 3. 잠재상태에서의 상태전이표
Table 3. State Transition Table with Potential States

이전 상태(ST)	상황(S)	다음 상태(ST)
IGIS	RG	GIS
	IG	GOS
	CE	PSLP
CGIS	RG	GIS
	IG	PGOS
	CE	SLP
RGOS	RG	GIS
	IG	GOS
	CE	PSLP
CGOS	RG	PGIS
	IG	GOS
	CE	SLP
RSLP	RG	GIS
	IG	PGOS
	CE	SLP
ISLP	RG	PGIS
	IG	GOS
	CE	SLP

초기상태 s_0 는 주요 상태집합 중 어느 상태에서도 유효하
나 화면 집중을 하고 있는 상태(GIS)를 정상적인 것으로 볼
수 있으므로 이를 시작 상태로 정한다. 즉, $s_0 = GIS$ 이다.
종료 상태의 집합(F)은 상황 입력이 종료되는 시점이다. 그러
므로 이 집합은 모든 상태가 될 수 있으므로 ST 집합이 된다.

식(2)와 <표1>~<표3>에 의하여 작성한 상태 전이도
(state transition diagram)는 <그림 2>와 같다.

<그림 2>의 상태 전이도에 의하여 기계가 작동되는 예를
살펴보자. 기계가 시작이 되면 시작상태(s_0)는 화면집중영역
을 응시하는 상태(GIS)이므로 GIS 상태에서 시작된다.

계속 화면을 응시하는 상황(RG)이 일어나면 같은 상태를
유지하고, 집중영역을 벗어난 응시 상황(IG)이 발생하면
IGIS 잠재상태로 전이된다. 만약 눈을 감고 있는 상황(CE)
가 일어나면 CGIS 잠재상태로 전이된다. 그러나 이 잠재 상
태에서 화면 집중영역을 응시하는 상황(RG)이 발생하면 이
전 상황이 일시적인 상황으로 보고 다시 GIS 주요상태도 전
이되어 화면 집중을 하고 있는 것으로 판단하게 된다.

각 잠재상태에서 이전에 발생한 상황과 같은 상황이 일어
나면 연속 2회 같은 상황이 발생되었으므로 이에 맞는 주요
상태로 전이한다. 즉, CE 상황이면 SLP 상태로, IG 상황이면
GOS 상태로 전이되어 각각 화면의 집중영역을 벗어난 것
으로 판단하거나, 지속적으로 눈을 감고 있어서 졸음과 같은
판단을 한다.

그러나, 현재 상황이 잠재 상황(RG)이 아니면서 이전과는
다른 상황(CE 상황 다음 IG 상황 또는 IG 상황 다음 CE 상

황인 경우)는 지금 상황을 한 번 더 확인하기 위한 예비상태
(PSLP 또는 PGOS)로 전이되고, 다음 상황에 의하여 새로
운 판단을 하게 된다.

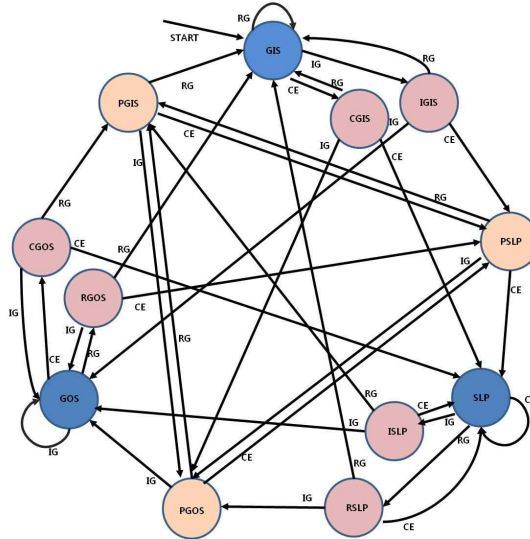


그림 2. 화면 응시판단 유한상태기계의 상태전이도
Fig. 2. State Transition Diagram for the controlling the
gaze at the Screen

예제에서 보듯이 모든 주요 상태에 이르는 전이 경로는 같
은 상황이 2회 이상 발생해야만 가능하다. 이처럼 이전에 발
생했던 상황을 이력(situation history)으로 관리하여 다음
상황과 연계하여 상태를 전이함으로써 보다 정확한 판단을 할
수 있는 유한 상태 기계로 작동된다.

IV. 유한상태기계(M_{GS})의 구현 및 검증

1. 시뮬레이터의 구조

화면을 응시하고 있는지를 판단하는 유한 상태 기계를 구
현하기 위하여 시뮬레이터를 만들어 시험하였다. 시뮬레이터
는 <그림 3>과 같이 유한 상태 기계에 입력집합을 만들어내
는 부분, 상태전이를 결정하는 부분 및 전이된 상태에 따라서
상태를 판단하여 조치를 시행하는 부분으로 구성된다.

상황 입력 발생기(SIG, Situation Input Generator)는
영상입력을 받아서 눈동자 검출 방법[1, 2]을 이용, 눈동자의
위치 상황을 결정한다. <그림 1>에서처럼 화면 응시 집중 영
역을 확인하기 위한 초기 정보를 설정하는 작업을 한 후, 눈

을 감고 있거나 화면 응시가 집중 영역 내부 또는 외부인 것을 판정하여 유한 상태 기계에 넘긴다.

화면 응시 판단 유한 상태 기계(MGS)는 상황 입력에 의하여 현 상태에서의 전이합수를 적용하여 상태전이를 한다. 제어 발생기(CG, Control Generator)는 주요 상태로 전이가 되었을 경우, 이에 맞는 제어를 만들어 낸다. 예로 화면 응시 집중영역을 벗어난 GOS 상태인 경우나 졸거나 눈을 감고 있는 SLP 상태인 경우 경고 조치를 취하도록 제어를 한다.

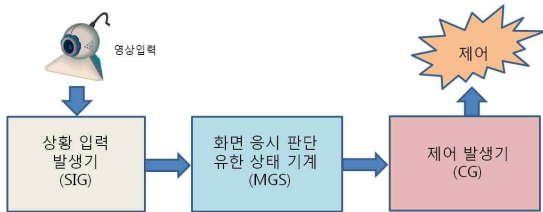


그림 3. 시뮬레이터의 구조도
Fig. 3. Organization of the simulator

2. 시뮬레이터의 구현 및 검증

시뮬레이터는 <그림 5>와 같이 화면을 응시하고 있는 얼굴을 웹캠으로 수집된 이미지에서 눈 영역과 눈동자 위치값을 분석한 영상입력에 의하여 상황 입력 발생기(SIG)는 상황 입력(SI) 값을 발생시킨다. 이전 연구[2]를 이용하여 얻어낸 정보를 이용하였다. <그림 4>는 눈동자의 위치와 개폐를 결정하는 측정요소(h:눈의 열림 높이, w:눈의 폭, pw:눈동자의 폭, hw:수평선 상 눈동자의 폭)이며, 실제 측정하고 상황을 판정한 표를 <표 4>에 보이고 있다.

이 자료를 기반으로 상황 입력이 나타내는 응시영역(Gaze Area)을 <그림 1>의 영역 분류에 따라서 화면에 나타내도록 하였다. 유한상태기계가 작동하는 상태를 이전상태(Previous State)와 상황 입력에 의해서 전이된 현재 상태(Current State)를 MGS 영역에 나타냈다.

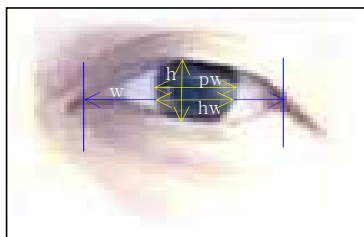


그림 4. 실제 눈에서의 측정지표
Fig. 4. Measures on a real eye

표 4. 실제 눈의 측정치
Table 4. Measure values on the real eye

이미지	w	h	hw	비율	판정	hw	pw	중앙 편차	판정
1	65	12	0.18	89%	개	56.0	56.0	-1.5	중앙
2	64	12	0.19	91%	개	52.5	60.0	4.5	좌
3	61	7	0.11	56%	개	47.0	61.5	9.5	좌
4	52	2	0.04	19%	폐	44.0	41.0	-3.0	
5	62	7	0.11	55%	개	53.5	57.0	-0.5	중앙
6	67	9	0.13	65%	개	60.5	60.0	-7.0	우
7	64	2	0.03	15%	폐	63.5	58.0	-5.5	
8	66	13	0.20	95%	개	59.5	56.0	-4.5	중앙
9	66	11	0.17	81%	개	60.5	59.0	-6.5	우
10	67	9	0.13	65%	개	61.0	59.0	-8.5	우

제어 발생기(CG) 영역에는, 현재의 주요 상태에 따라서 제어 정보를 출력(Output of Control)하도록 하였다. 텍스트 정보와 더불어 경고성 이미지 정보도 같이 나타냈다.

화면 오른쪽에 제어 상황판(Control Board)을 두어 유한 상태기계가 작동한 이력을 한 번에 볼 수 있게 함으로써, 모니터링을 통하여 유한 상태 기계의 작동에 대한 검증할 수 있도록 하였다.



그림 5. 시뮬레이터의 초기화면
Fig. 5 The initial screen of the simulator

<그림 6>은, 화면을 응시하고 있는 정상 상태에서 시작하여 화면 밖을 응시하다 졸고 있는 상태, 다시 화면 밖을 응시하는 상태로 전이되고 있는 중의 시뮬레이터 화면을 캡처한 것이다. 각 주요 상태마다 제어 발생기에서는 경고성 이미지와 메시지가 출력되고 있다.

<그림 7>은 시뮬레이터의 상황판만을 캡처한 것이다. 영상 입력 상황에 대하여 이전 상태에서 전이가 발생하여 현재 상태로 전이되는 과정의 이력을 기록한 것으로 유한 상태 기계의 작동을 검증할 수 있다.



그림 6. 시뮬레이터의 작동 화면
Fig. 6. A sample screen capture of the simulator

첫째 상자의 예는 RG 상황이 계속 입력되어 정상으로 화면을 응시하는 상태(normal gaze)이다가, IG 상황이 입력되어 GIS 주요 상태에서 IGIS 잠재 상태로 전이되는 과정을 보여주고 있다. 그렇지만 제어는 아직 판단이 유보된다(Not decide). 다시 한 번 IG 상황이 입력되면 IGIS 상태에서 GOS 주요 상태로 전이되면서 판단된 제어는 화면에 응시하지 않고 있음(Wrong Gaze)을 결정한다.

둘째 상자의 예는 정상 응시 상태에서 한 번의 눈을 감고 있는 CE 상황이 입력되고 다음 IG 상황이 입력되어 CGIS 잠재 상태에서 PGOS 예비 상태로 전이되었다가 한 번 더 IG 상황이 입력됨으로써 응시하지 않고 있음을 판정하고 있다.

세 번째 상자의 예는 정상 응시에서 눈을 감고 있거나 졸고 있는 상태로의 전이와 넷째 상자의 예는 눈을 감고 있는 상태에서 비정상 응시 상태로 전이되고 있는 것을 보여주고 있다.

SI	Prev. ST	Curr. ST	Control
RG	GIS	GIS	Normal Gaze
RG	GIS	GIS	Normal Gaze
RG	GIS	GIS	Normal Gaze
IG	GIS	IGIS	Not decide
IG	IGIS	GOS	Wrong Gaze
IG	GOS	GOS	Wrong Gaze
IG	GOS	GOS	Wrong Gaze
IG	GOS	GOS	Wrong Gaze
RG	GOS	RGOS	Not decide
RG	RGOS	GIS	Normal Gaze
RG	GIS	GIS	Normal Gaze
CE	GIS	CGIS	Not decide
IG	CGIS	PGOS	Not decide
IG	PGOS	GOS	Wrong Gaze
IG	GOS	GOS	Wrong Gaze
IG	GOS	GOS	Wrong Gaze
RG	GOS	RGOS	Not decide
RG	RGOS	GIS	Normal Gaze
RG	GIS	GIS	Normal Gaze
RG	GIS	GIS	Normal Gaze
CE	GIS	CGIS	Not decide
CE	CGIS	SLP	Sleep
CE	SLP	SLP	Sleep
IG	SLP	ISLP	Not decide
IG	ISLP	GOS	Wrong Gaze
IG	GOS	GOS	Wrong Gaze

그림 7. 시뮬레이터의 상황판
Fig. 7. The control board of the simulator

V. 결론

동영상은 텍스트보다 많은 정보를 함축하고 있어서 이를 통하여 정보를 추출해내는 일은 매우 중요하다. 그러나, 2차원으로 정보를 저장하고 있는 이미지에서 컨텍스트를 분석하는 일은 쉽지 않다.

본 연구에서는 기존에 연구된 눈의 개폐와 눈동자 위치값 측정치를 이용하여 화면 응시 여부를 판단하고 제어할 수 있는 유한 상태 기계를 설계하고 구현하였다. 기초적인 화면 영역 응시 경계값을 기반으로 화면 집중영역 응시 상황과 이외의 영역 응시 상황, 눈을 감고 있는 상황으로 구분하여 입력 집합을 정의하고, 3가지 상황에 의한 상태를 주요 상태로 분류한 후 상황 이력을 파악하기 위한 예비 상태와 잠재 상태를 설정함으로써 2회 이상의 상황이 연속되었을 때 주요 상태를 결정하고 이를 제어할 수 있도록 유한 상태 기계를 구성함으로써 판단의 정확도를 높였다.

정의된 3개의 주요 상태, 3개의 예비 상태 및 6개의 잠재 상태와 3가지 상황에 의한 전이함수를 정의하였고, 이를 실 상황과 같이 작동할 수 있는 시뮬레이터를 구현하고 작동되는 과정을 모니터링하여 검증하였다. 정의된 전이 함수에 따라 작동되고 있음과, 상황 이력을 이용하여 연속 2회 이상의 같은 상황이 입력되어야만 상태 판단을 함으로써 일회성의 상황에 잘못 판단하는 오류를 범하지 않는 제어 시스템을 확인하였다.

연구의 결과는 사이버 강의나 방법 감시 시스템같이 모니터에 집중해야 하는 시스템에서 줄거나, 모니터가 아닌 다른 방향에 집중하고 있는 상태를 파악하여 알려주거나 제지하는데 응용할 수 있다.

앞으로 화면 응시에 대한 판단의 정확도를 높이기 위하여, 상황 입력의 세분화된 분류에 대한 연구와 상황 입력 간 간격에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.

참고문헌

[1] Zafersavas, "TrackEye: Real-Time Tracking of Human Eyes Using a Webcam," <http://www.codeproject.com/KB/cpp/TrackEye.aspx>

- [2] Bonghee Moon, "A Method for the Detection of an Open/Closed Eye and a Pupil using Black and White Bipolarization," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 12, pp.89-96, Dec. 2009.
- [3] Kim Hyeong gyun, Jung gi bong, "Real-time Face Detection System using YCbCr Information and AdaBoost Algorithm," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 13, No. 5, pp.19-26, Sep. 2009.
- [4] Woo-Ram Lee, Dong-Guk Hwang, Byoung-Min Jun, "Face Detection Using Geometrical Information of Face and Hair Region," Journal of the Korean institute of communication sciences, Vol. 34, No. 2, pp. 194-199, Feb. 2009.
- [5] Daedong Hwang, Gyeyoung Kim, "Component-Based Face Detection using T-type Structure," KSCI review, Vol. 16, No. 2, pp.227-230, Dec. 2008.
- [6] Young-Jae Park, Seok-Woo Jang, Gye-Young Kim, "A Study Extraction of Skin Region and Lip Using Skin Color of Eye Zone," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 4, pp.19-30, Apr. 2009.
- [7] Chung-Kyue Kim, Chang-Zeng Lee, Jong-Seung Park, "A Study on the Indirect Interface Control System of the Automatic Extraction of the Eye Region followed by the Gaze Tracing," Journal of The Korea institute of information technology, Vol. 6, No. 4, Aug. 2008.
- [8] W.M.K.W.M. Khairrosfaizal, A. J. Nor'aini, "Eyes detection in facial images using Circular Hough Transform," CSPA 2009, pp.238 - 242, March 6-8, 2009.
- [9] I. K. Kallel, D. S. Masmoudi, N. Derbel, "Fast pupil location for better iris detection," SSD '09, pp.1-6, Mar. 23-26, 2009.
- [10] A. Basit, M.Y. Javed, S. Masood, "Non-circular pupil localization in iris images," ICET 2008, pp.228-231, Oct. 18-19, 2008.
- [11] Y. Ebisawa, "Robust pupil detection by image difference with positional compensation," VECIMS '09, pp.143-148, May 11-13, 2009.
- [12] M. H. Sigari, "Driver Hypo-vigilance Detection Based on Eyelid Behavior," CAPR '09, pp.426 - 429, Feb. 4-6, 2009.
- [13] G. Zhang, B. Cheng, R. Feng, X. Zhang, "A Real-Time Adaptive Learning Method for Driver Eye Detection," DICTA '08, pp.300-304, Dec. 1-3, 2008.
- [14] P. R. Tabrizi, R. A. Zoroofi, "Open/Closed Eye Analysis for Drowsiness Detection," IPTA 2008, pp.1-7, Nov. 23-26, 2008.
- [15] J.R. Parket, A.Q. Duong, "Gaze Tracking: A Sclera Recognition Approach," ICSMS '09, pp.3836-3841, Oct. 2009.
- [16] H. M. Peixoto, A. M. G. Guerreiro, A. D. D. Neto, "Image processing for eye detection and classification of the gaze direction," IJCNN '09, pp. 2475-2480, June 14-19, 2009.
- [17] T. Miyake, T. Asakawa, T. Yoshida, T. Imamura, "Detection of view direction with a single camera and its application using eye gaze," IECON '09, pp.2037-2043, 2009.
- [18] B. L. Nguyen, "Eye Gaze Tracking," RIVF '09, pp.1-4, 2009.
- [19] Finite State Machine, http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_state_machine
- [20] T. Juan, S. Sanjeevan, J.J. Navarro, "Dynamic history-length fitting: a third level of adaptivity for branch prediction," ISCA '98, pp.155-166, 1998.
- [21] S. Reches, S. Weiss, "Implementation and analysis of path history in dynamic branch prediction schemes," IEEE Trans. on Computers, vol. 47, No. 8, pp.907-912, Aug. 1998.

저 자 소개



문 봉 희

1983: 서울대학교 계산통계학과 이학석사
 1992: 서울대학교 전산학과 이학박사
 현 재: 숙명여자대학교 정보과학부 교수
 관심분야: 컴퓨터구조, 임베디드시스템,
 컴퓨터교육

Email: moon@sookmyung.ac.kr