

컴퓨터 비전을 이용한 강의 도우미 시스템 Teaching Assistant System using Computer Vision

김태준, 박창훈, 최강선*

한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

Tae-Jun Kim, Chang-Hoon Park, Kang-Sun Choi*

School of Electrical, Electronics and Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan 330-708, Korea

[요약]

본 논문에서는 컴퓨터 비전을 이용한 강의 도우미 시스템을 제안한다. 강의자가 강의를 진행하며 사용하는 강의 노트 및 관련 동영상 등 다양한 강의 콘텐츠를 사용할 때, 콘텐츠 전환 등 컴퓨터 조작으로 인해 강의의 끊김이 유발된다. 제안하는 시스템에서는 강의 도중 강의 컴퓨터에 대한 조작이 필요할 때, 보드에 미리 정해진 기호를 그려 넣고 시스템이 이를 인식하여 해당 조작을 수행함으로써 강의 끊김 없이 손쉽게 강의를 이끌어 가도록 도와준다. 제안된 강의 도우미 시스템에서는 임의의 기호를 인식하기 위해 모양 문맥이라는 특징 표현자를 사용한다.

[Abstract]

In this paper, a teaching assistant system using computer vision is presented. Using the proposed system, lecturers can utilize various lecture contents such as lecture notes and related video clips easily and seamlessly. In order to do transition between different lecture contents and control multimedia contents, lecturers just draw pre-defined symbols on the board without pausing the class. In the proposed teaching assistant system, a feature descriptor, so called shape context, is used for recognizing the pre-defined symbols successfully.

Key Words: computer vision, shape context, symbol recognition, teaching assistant system

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2013.109>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 18 October 2013; **Revised** 1 November 2013

Accepted 12 November 2013

***Corresponding Author**

E-mail: ks.choi@koreatech.ac.kr

I. 서론

강의 교육을 진행함에 있어서 파워 포인트 혹은 pdf파일, 동영상 시청 등 컴퓨터와 빔 프로젝터와 같은 다양한 시청 각 기기를 활용한 수업이 많이 진행되고 있다. 하지만 일반적으로 강의 내용을 생성해주는 컴퓨터가 강의 내용이 표현되는 스크린으로부터 떨어져 있어 이것들을 실행 시킬 때에 컴퓨터에 직접 가서 실행 시키고 파일을 찾을 시 시간이 지연되고, 파워 포인트 수업을 진행하다가 동영상 시청이 필요할 때 파워 포인트를 끄고 동영상을 실행시키는 번거로움이 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 컴퓨터 비전을 이용하여 쉽게 강의자의 의도를 파악하여 알맞은 프로그램의 실행과 종료 및 프로젝터의 출력을 제어하는 시스템을 개발했다. 제한된 시스템에서는 강의 도중 미리 지정해놓은 심볼(Symbol)을 강의가 진행되는 화이트 보드에 그려 넣으면 이를 인식하여 강의자가 어떤 동작을 원하는지 해독한 후 그에 맞는 프로그램을 실행시켜 프로젝터에 영사하게 된다.

강의자가 심볼을 그리다 보면, 지정된 심볼 대비 크기, 각도, 모양 등에 왜곡이 발생할 수 있다. 일반적으로 쉽게 사용되는 Template Matching 방식은 이러한 왜곡 발생 시 심볼에 대한 인식률이 떨어지는 문제가 있다. 따라서 제안된 시스

템에서는 이러한 크기, 각도, 모양 등의 왜곡 발생에도 심볼을 올바르게 인식하기 하기 위해 Shape Context라는 Feature Descriptor를 사용했다.

프로젝터를 화이트 보드 위에 영사하면 영사된 화면 위에 부연설명을 적을 수가 있어서 필기를 위해 교육 자료에 있는 내용을 화이트 보드에 다시 옮길 필요가 없다. 이를 강의 시에 활용하면 강의 자료의 변환 시, 강의자가 분주히 움직이며, 강의의 흐름이 끊어지는 문제를 해결할 수 있다.

II. 관련 기술 동향

현재 스마트 보드 전체에 빔 프로젝터를 영사시키고 터치 스크린처럼 사용하는 제품이 시장에 나오긴 했지만 가격이 보통 100만원 단위가 넘어가고 비싼 것은 수 백 만원까지 한다. 하지만 제안된 시스템은 비싼 터치 스크린 사용 없이도, 기본 강의실에 구성되어 있는 PC, 빔 프로젝터, 컴퓨터에 저렴한 웹 캠을 추가하여 구동이 가능하기 때문에 비용 면에서 매우 저렴한 장점이 있다.

표 1[1-3]에 최근 스마트 보드 동향에 대해 조사하여 표시했다.

표 1. 현재 시판되고 있는 스마트 보드

Table 1. Smart board products



FB-9000/1010 [1]

장점

- 광학센서를 이용한 터치 기능이 있다.
- 화이트 보드 위에 영사하는 방법으로 심볼로 판서가 가능하다.

단점

- 가격이 비싸다. (200만원 이상)



BCB-3200W [2]

장점

- 판서 내용을 바로 프린트 할 수 있다.
- 여러 개의 화면으로 구성되어 많은 양의 판서를 담을 수 있다.

단점

- 가격이 비싸다.(180만원 대)
- PC와 연동이 되지 않는다.

모델명	G2B번호	규격	조달등록가격
CB-5170C	22426557	70" LED형 전자칠판	5,940,000
CB-5270C	22444537	70" LED, HD Cam	7,260,000
CB-5170S	22487148	70" LED, 터치미러링	6,820,000
CB-5270S	22487149	70" LED, 터치미러링, HD Cam	8,140,000
CB-5270P	22556355	70" LED, 터치미러링, HD Cam, N:1	10,340,000
CB-5184	22546069	84" LED형 전자칠판	8,800,000
CB-5284	22546067	84" LED, HD Cam	10,120,000
CB-5184S	22546068	84" LED, 터치미러링	9,680,000
CB-5284S	22546066	84" LED, 터치미러링, HD Cam	11,000,000
CB-5284P	22556356	84" LED, 터치미러링, HD Cam, N:1	14,300,000
CB-9570	21652480	70" LCD형 전자칠판	4,950,000
CB-5672L	22080711	75" LED, 3D TV 지원	15,000,000

[3]

기능은 가장 위의 제품과 비슷하나 화이트 보드가 아닌 LED, LCD 위에 판서 및 여러 가지 기능을 하는 전자칠판들이다. 가격은 크기 및 종류에 따라 다르지만 비싸다.

III. 제안하는 영상처리를 이용한 강의 도우미 시스템

A. 개발 아이디어

제안하여 구현된 시스템은 강의 시 컴퓨터 비전을 이용하여 쉽게 강의자의 의도를 파악하여 알맞은 프로그램의 실행과 종료 및 프로젝터의 출력을 제어함으로써 강사의 컴퓨터 활용 편의성 증진을 목적으로 한다.

미리 저장된 심볼과 비슷한 그림을 그리게 되면 그에 해당하는 프로그램이 실행 및 종료가 되고, 심볼을 통해 프로그램의 세부 제어까지 가능하게 한다. 이와 같은 심볼은 일반적으로 강의 시 판서되는 내용과 구별하기 위해, 심볼이 그려지는 부분은 사각형 안으로 한정 지었다.

해당 기능은 파워 포인트에서 슬라이드 쇼 보기 기능, pdf 파일 오픈 및 페이지 내리고 올리기, 미리 지정된 동영상 플레이 기능, 화이트 보드를 찍고 있는 카메라의 영상을 저장하는 capture 기능, 강의를 녹화 할 수 있는 녹화 기능이 있다.

Shape Context feature descriptor 및 Descriptor Matching 알고리즘을 C로 직접 구현하였고, 이 외 OpenCV 라이브러리 및 ARToolkit 라이브러리를 사용했다.

B. 구현 알고리즘

제안하는 시스템은 화이트 보드를 웹 캠이 찍고 있으면서 화이트 보드의 영상을 실시간으로 받아온다. 실시간으로 받아온 영상을 통하여 일정크기 이상의 사각형이 검출 됐을 시에 사각형의 왼쪽 위의 모서리 좌표와 오른쪽 아래 모서리 좌표를 받아온다. 그 사각형만큼의 좌표를 잘라내어 사각형 안의 영상을 Shape Context라는 feature descriptor를 통하여 미리 저장된 심볼과 비교를 하여 유사도를 계산한다. 유사도

표 2. 시스템 상 정의된 심볼

Table 2. Symbols defined in the proposed system

심볼	동작
▷	미리 등록된 동영상을 플레이.
P	파워 포인트를 실행하고 슬라이드 쇼 보기 모드.
≫	파워 포인트 실행 시 다음 페이지로 넘기거나, 동영상 실행 시 빨리감기 기능.
≪	파워포인트 실행 시 이전 페이지로 되돌아 가거나, 동영상 실행 시 되돌리기 기능.
X	열려 있는 모든 창 닫기.
C	강의 중 화면 캡처 기능.
R	강의 중 녹화 기능

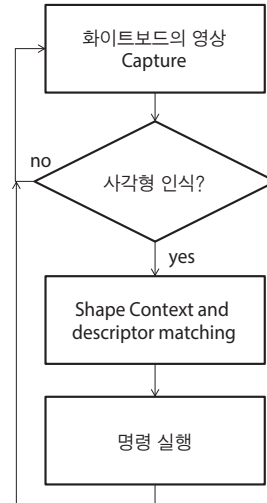


그림 1. 프로그램 실행 설계 순서도

Fig. 1. Flow chart of the proposed system.

가 낮으면 낮을수록 비슷한 shape를 갖고 있다고 판단하여 그에 맞는 명령을 수행한다.

아무런 실행 명령이 없을 시에는 판서할 시 빔 프로젝터를 끄는 효과를 내기 위하여 검은 화면의 이미지를 전체보기로 출력한다. 다음 표 2는 미리 저장된 심볼과 동작을 설명한다.

1) 설계 순서도

그림 1은 제안한 시스템의 블록도를 보여준다. 먼저 주기적으로 웹 캠을 통해 영상을 받아오고 영상 내 사각형을 탐색한다. 사각형이 인식이 되면, 해당 사각형의 내부를 조사하여 Shape Context로 Description을 만들고, Matching 과정을 통해 미리 등록된 심볼과 비슷한 모양이면 해당 동작을 실행하는 방법이다.

2) Shape Context [4-6]

Shape Context는 영상의 특징을 구분하는 Descriptor 중 하나로 많이 사용되고 있다. Descriptor에는 많은 종류가 있는데 우리는 여러 가지의 Descriptor(Zernike moment[7], SIFT[8], Shape Context [4-6])를 실험해본 결과, Shape Context가 정해진 심볼의 크기에 민감하지 않고(Scale invariant), 인식률이 뛰어나서 사용하기로 했다. 각 점의 Shape Context를 계산하는 데에 있어서 절대적인 프레임을 사용하면 회전 불변의 Descriptor를 만들 수 있지만 원하는 마커가 아닐 시에는 인식을 피하기 위해 상대적인 프레임을 써 회전에 민감하게 하였다.

Shape Context는 영상으로부터 점의 위치를 얻은 후,

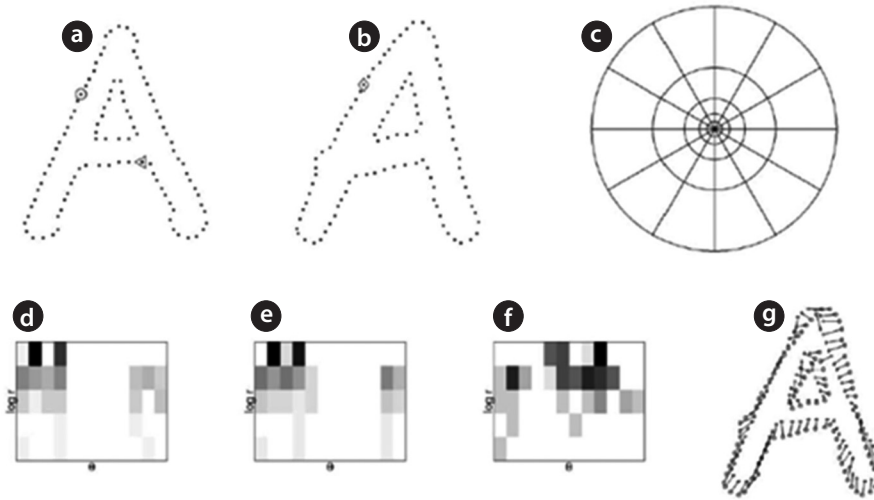


그림 2. Shape Context 구성과 matching 예시. (a) 정해진 심볼의 외곽선 및 점 추출, (b) 비슷한 그림의 외곽선 및 점 추출, (c) log-polar 평면, (d) 그림(a)의 동그라미 점에 대한 log-polar 히스토그램, (e) 세모모양 점의 log-polar 히스토그램, (f) 그림(b)의 다이아몬드 모양 점의 log-polar 히스토그램, (g) 그림(a)와 그림(b)의 점들의 매칭 결과

Fig 2. Example of shape context and matching. (a) Extraction of boundary points from a ground-truth symbol, (b) Extraction of boundary points from test image, (c) log-polar plane, (d) log-polar histogram for the point circled in (a), (e) log-polar histogram for the point marked as diamond in (b), (f) log-polar histogram for the point marked as triangle in (a), (g) Matched points between (a) and (b).

표 3. 헝가리안 알고리즘 실행 예

Table 3. Example of Hungarian Algorithm

행렬 값	설명
$\begin{pmatrix} 6 & 4 & 1 \\ 10 & 6 & 3 \\ 9 & 3 & 8 \end{pmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> - 다음과 같은 행렬의 1:1 매칭 최소값을 구하고자 한다. - 이때 하나의 행에서는 하나의 열만 선택할 수 있으며, 한번 선택한 행이나 열은 다시 선택할 수 없다. - 선택한 행과 열의 값의 합이 최소가 되는 경우를 찾는다.
$\begin{pmatrix} 6 & 4 & 1 \\ 10 & 6 & 3 \\ 9 & 3 & 8 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 5 & 3 & 0 \\ 9 & 6 & 2 \\ 8 & 2 & 7 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 7 & 3 & 0 \\ 6 & 0 & 5 \end{pmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> - 먼저 각 행과 각 열에서 0을 제외한 가장 작은 숫자를 모든 행과 열에서 뺀다. - 각 행에서 가장 작은 숫자는 1이기 때문에 모든 수에서 1을 뺀 행렬은 두 번째 행렬이 된다. - 각 열에서 가장 작은 숫자는 2이므로 모든 수에서 2를 뺀 행렬을 세 번째 행렬이 된다. - 각 행에서 서로 다른 열에 0이 존재하면 이를 선택하여 더하면 최소값이 되나, 1행과 2행의 0이 존재하는 열이 같으므로 아직 구할 수 없다.
$\begin{pmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 7 & 3 & 0 \\ 6 & 0 & 5 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 6 & 2 & 0 \\ 6 & 0 & 4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 4 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> - 모든 값에서 0을 제외한 최소값을 더하고, 0의 직선의 교차점에는 최소값을 더해준다. - 이 경우에는 0의 직선의 교차점이 없으므로 최소값 1을 모든 값에서 뺀다. 결과는 두 번째 행렬이다. - 이 행렬에서는 0의 직선의 교차점이 1행 3열에 생겼다. 그러나 아직 1열에서 선택할 수 있는 0이 존재하지 않기 때문에 교차점에 최소값 2를 더해주고 0을 제외한 나머지에서는 뺀다. 결과는 3번째 행렬이다.
$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 4 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> - 첫 번째 행렬에서 각 행에서 0을 선택 할 수 있다. - 이 경우에는 1행 1열, 2행 3열, 3행 2열을 선택하여 더하면 최소값이 된다. 결과는 6 + 3 + 3 = 12이다. - 몫이 큰 크기의 행렬에서는 계산 속도를 비약적으로 줄일 수 있다.

모든 점에 대해 해당 점과 주변 점들과의 관계를 거리와 각도로 표현함으로써 해당 점의 특징을 추출하게 된다. 아래는 Shape Context matching을 하는 순서이다.

순서 1: 이미지를 gray-scale로 바꾸고, 이진화한다.

순서 2: 이진화된 이미지에서 외곽선을 추출하고 외곽선 위의 N개의 점들을 추출한다. 점의 개수가 너무 많으면 속도가 느려지기 때문에 일정간격으로 점의 개수를 리샘플링하여 리샘플링된 점의 위치(x, y좌표)를 행렬로 저장한다. 그림 2의 (a)는 외곽선 위의 점을 구하고 리샘플링 한 그림이다.

순서 3: 한 영상에서 한 점과 각 점 사이의 거리와 각도를 구하고, 구해진 점들을 log-polar 그래프와 같은 방법으로 히스토그램으로 저장한다. 외곽선 위의 p_i 번째 점의 히스토그램을 $h_i(k)$ 라 하겠다. 그림 2의 (c)는 log-polar 그래프를 나타내었고, (d),(e),(f)는 한 점에서 주변 점과의 거리와 각도를 히스토그램으로 나타낸 것이다.

순서 4: 모든 점들에 대해서 순서 3을 반복한다. 그러면 점의 개수 N만큼의 히스토그램이 완성된다.

순서 5: base가 되는 그림의 히스토그램 $h_i(k)$ 와 target이 되는 그림의 히스토그램 $h_j(k)$ 을 사용하여 식(1)과 같이 두 히스토그램의 거리를 구한다.

$$C(i, j) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \frac{(h_i(k) - h_j(k))^2}{h_i(k) + h_j(k)} \quad (1)$$

순서 6: 헝가리안 알고리즘을 사용하여 $H(p_i, q_{\pi(i)})$ 를 구한 값으로 매칭에 이용한다. $q_{\pi(i)}$ 는 p_i 와 가장 유사한 점이다. 만약 같은 그림이 들어갈 시 $H(p_i, q_{\pi(i)})$ 값은 0이 될 것이다. 헝가리안 알고리즘을 사용하여 매칭된 모습은 그림 2의 (g)와 같다.

이를 구현함에 있어 먼저 MATLAB으로 구현하여 알고리즘의 Feasibility를 확인하고, C언어로 컨버팅하는 과정을 거쳤다. MATLAB에서는 점의 개수 및 좌표를 받아올 때 메모리가 갱신이 되기 때문에 문제가 발생하지 않았지만, C에서는 먼저 메모리를 잡아야 하는 문제가 발생했다. 하지만 리샘플링 되는 점의 개수를 제한하여 메모리 문제를 해결할 수 있었다. 점의 개수가 많으면 많을수록 정확도는 올라가지만, 계산 시간이 오래 걸리기 때문에 점의 개수는 300개로 제한하였고, 이로 인해서 인식률은 조금 떨어지지만 속도를 비약적으로 상승시킬 수 있었다.

Matching 방법으로는 한 점과 다른 점들과의 Shape Context를 비교하여 한 점과 매칭되는 점을 찾아야 하지만 시간이 너무 많이 걸리는 문제로 인해 행렬에서 모두 다른 열에서의 값이 최소가 되는 path를 구하는 Hungarian Algorithm[9]을 사용하여 시간을 단축시킬 수 있다. 이 최소가 되

는 값을 Cost로 사용하여 매칭률을 알아 볼 수 있다. 논문 [4-6,9]을 참고하여 Shape Context를 구현했다.

3) Hungarian Algorithm

헝가리안 알고리즘은 행렬에서 한 행에 한 열의 값만을 취하면서 열의 중복 없이 모든 행들의 값을 취했을 때 이 값들의 합이 최소가 되는 행과 열들의 경우, 즉 1:1 가중치 매칭을 할 수 있는 알고리즘이다. 본 프로그램에는 Base가 되는 이미지의 Feature Descriptor의 한 점과 다른 이미지의 Feature Descriptor의 한 점을 매칭시키기 위하여 사용했다. 행렬이 $N \times N$ 의 행렬이라고 했을 때 이 경로를 구하기 위해서는 $N!$ 번의 계산을 해야 한다. 그러나 이 알고리즘을 사용하면 번의 계산을 구할 수 있어 계산시간을 단축시킬 수 있다. 표 3에서 예시를 들어 헝가리안 알고리즘을 설명했다.

IV. 교육적 활용

A. 교육 활용 내용 및 방법

실제 강의 시에 사용할 수 있는 몇 가지 방법을 아래에 예시했다.

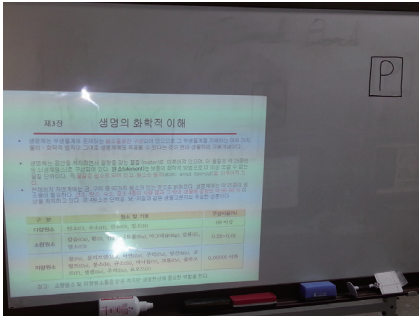
- 1) 수업을 진행하다가 파워 포인트 강의가 필요 할 때에 심볼을 그려 넣음으로써 파워 포인트를 실행한다.
- 2) 파워 포인트 수업 진행 중 동영상 시청이 필요할 시에 심볼을 인식시켜 동영상을 바로 재생 할 수 있다.
- 3) 파워 포인트 수업 진행 시 >> 심볼을 화이트 보드 위에 그려 넣음으로써 슬라이드 쇼를 진행 할 수 있다.
- 4) 강의 중 화이트 보드 내용을 capture하고 싶다면 C를 그려 넣어서 capture를 할 수 있다.
- 5) 강의 내용을 녹화 하고 싶을 때에는 녹화 심볼을 그려 넣어서 녹화가 가능하다.

아래 그림 3에 활용된 사진 몇 가지를 소개했다.

B. 기대 효과

이 과정을 통하여 학습을 진행 시, 다음과 같은 학습 효과를 얻게 될 것으로 기대된다.

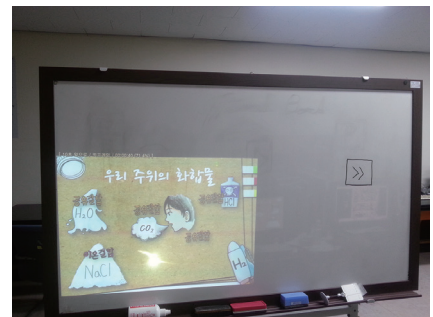
- 1) 강의 녹화기능을 통하여 쉽게 녹화를 할 수가 있어서 녹화된 내용을 학생들에게 공개함으로써 강의를 학생들에게 피드백 할 수 있게 도와준다.
- 2) 강의 capture 기능으로 필기가 힘든 장애 학생들에게 capture된 이미지를 제공할 수 있다.



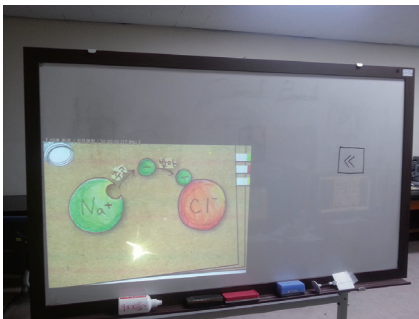
파워 포인트 실행 화면



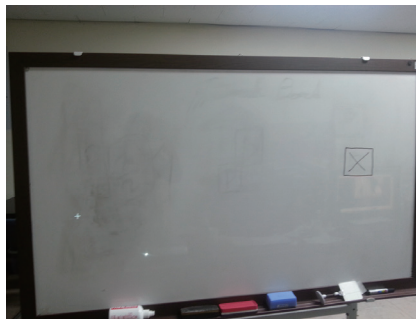
동영상 실행 화면



키보드 오른쪽 화살표 동작화면



키보드 왼쪽 화살표 동작 화면



프로그램 종료 및 검은 화면 출력

그림 3. 각 동작 별 사진

Fig. 3. Examples of defined operations.

3) 파워포인트 자료나 동영상 같은 수업자료를 편리하게 이용할 수 있고, 이용 후에는 자동으로 검정 화면으로 전환되므로 프로젝터를 On/Off 하는 수고를 덜 수 있다.

문자인식기법이 인식률이 떨어져서 응용하지는 못했지만, 인식률이 개선된 기법이 나올 시 적용하면 인터넷검색이나 사진 검색 등 더욱 더 많은 분야에 사용될 수 있을 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 Shape Context 기법을 통해, 정해진 심볼에 대해 크기 및 회전 변환에 영향을 받지 않고 인식 및 매칭하여, 강의자의 의도대로 강의 시스템을 쉽게 제어하는 시스템을 소개하였다. 입력 영상의 리샘플링과 헵가리안 알고리즘 사용을 통해 Shape Context 계산과 매칭 시 필요한 계산량을 효율적으로 줄여 낮은 사양의 PC에서도 실시간 동작을 확인했다. 이를 이용하면 강의하는데 더욱 편리하고, 필기가 힘든 학생들에게 이미지로 필기를 전달할 수 있으며, 녹화된 영상

을 통하여 학생들의 수업에 피드백을 줄 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] B&S Media, "e-vision," [Online]. Available: <http://www.bnsmedia.co.kr/sub/sub020203.asp>.
- [2] Seodo, "Product," [Online]. Available: http://e-seodo.co.kr/front/php/product.php?product_no=61&main_cate_no=1&display_group=2.
- [3] Esol Information Communication, "Product," [Online]. Available: <http://www.esolgroup.co.kr/product/product01-new.htm>.
- [4] S. Belongie, J. Malik, and J. Puzicha, "Shape Matching and Object Recognition Using Shape Context," *IEEE Transaction of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 24, pp. 509-522, Apr. 2002.
- [5] G. Mori, S. Belongie, and J. Malik, "Efficient shape

matching using shape contexts," *IEEE Transaction of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 11, pp. 1832-1837, Nov. 2005.

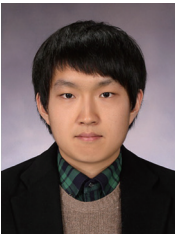
- [6] Z. Wang, and M. Liang, "Locally affine invariant descriptors for shape matching and retrieval," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 17, no. 9, pp. 803-806, Sep. 2010.
- [7] Y. Zhang, L. Wu, and H. Song, "Directional Zernike moments for rotation-free recognition of online sketched

- symbols," *Electronics Letters*, vol. 49, no. 16, Aug. 2013.
- [8] M. Grabner, H. Grabner, and H. Bischof, "Fast Approximated SIFT," *ACCV 2006, LNCS 3851*, pp. 918-927, Jan. 2006.
- [9] H. W. Kuhn, "The Hungarian Method for the assignment problem", *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 2, pp. 83-97, 1955.



김 태 준 (Tae-Jun Kim)

2008년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전자공학과 학사과정 재학중
<관심분야> 전자공학, 영상처리



박 창 훈 (Chang-Hoon Park)

2008년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전자공학과 학사과정 재학중
<관심분야> 전자공학, 영상처리



최 강 선 (Kang-Sun Choi)_정회원

1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사, 1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사, 2003년 2월 : 고려대학교 전자공학과 박사,
2005년 6월 ~ 2008년 8월 : 삼성전자 책임연구원, 2008년 10월 ~ 2011년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 연구교수,
2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 조교수
<관심분야> 컴퓨터비전, 3D영상처리, 영상압축