

악보의 음표 인식을 위한 형태학 기반의 오선 제거

제승완, 이덕우*

계명대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터공학전공

Morphology based Elimination of Staff Lines for Recognition of Musical Notes

Seungwan Je, Deokwoo Lee*

Department of Computer Engineering, Keimyung University

요약 본 논문에서는 영상데이터로 획득한 음악 악보에서 음표를 인식한 후 음계를 추출하기 위해 필요한 전처리인 오선삭제를 위한 방법을 제안한다. 영상으로 획득한 악보에서 음표를 인식하는 것은 영상기반의 악보해석에 매우 중요하게 간주되어 왔다. 본 논문에서는 화소값의 변화값을 기반으로 오선의 시작점을 검출하고 히스토그램 기반으로 오선 영역을 검출한다. 오선 영역을 성공적으로 검출하는 것이 성공적인 오선 삭제의 결과를 가져온다. 오선을 삭제하면서 음표를 연결하는 빔이 있을 경우 오선과 함께 빔이 동시에 삭제될 수 있다. 이렇게 삭제된 빔은 이진영상 기반의 형태학을 기반으로 복구하여 최종적으로 오선만 삭제한 결과를 얻을 수 있다. 기존의 음표인식에 대한 연구에서는 오선과 동시에 삭제될 수 있는 음표 또는 빔으로 연결된 음표들의 복구를 화소값의 비교를 통해 수행하였으나 본 논문에서는 영상의 형태학을 기반으로 복구를 수행한다. 본 논문에서 제안한 방법을 토대로 실제 악보영상을 이용하여 실험한 결과 오선 삭제 성공률이 최대 97.9퍼센트였으며, 영상기반의 악보 해석 자동화에 대한 가능성을 보여주었다.

Abstract This paper proposes an approach to the elimination of staff lines in music notes to recognize musical notes, followed by the extraction of scales. The recognition of musical notes has long been of interest and considered crucial for the image-based analysis of musical notes. In this paper, the starting position of the staff line is detected based on pixel values, and the detection of staff lines is performed using a histogram. The successful elimination of staff lines depends on accurate detection. However, beams can be eliminated simultaneously when staff lines are eliminated. To solve this problem, a morphological operation is employed to reconstruct the eliminated beams so that the desired result of the line elimination can be achieved. In the existing work on musical note recognition, the comparison of pixel values has usually been used for the reconstruction, but this work uses a morphology-based approach. The experimental results show a 97.9% accuracy of the elimination of staff lines, thus showing the feasibility of image-based automatic musical note analysis.

Keywords : Morphology, Staff Lines, Musical Note, Histogram, Recognition

이 연구는 2022년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어 졌음(20220208).

*Corresponding Author : Deokwoo Lee(Keimyung Univ.)

email: dwoolee@kmu.ac.kr

Received February 7, 2022

Accepted May 6, 2022

Revised February 25, 2022

Published May 31, 2022

1. 서론

인공지능 기술의 완성도가 높아지면서 다양한 형태의 데이터, 다량의 데이터를 획득하고 처리하는 센서 기술, 알고리즘 개발에 필요한 하드웨어 기술이 동시에 급격한 발전을 보여주고 있다. 인공지능은 기계가 사람처럼 데이터를 학습하고 이를 바탕으로 추론하고 판단할 수 있도록 하는 것에 그 목표를 두고 있다. 사람이 데이터를 획득하기 위해 5개의 감각기관을 주로 사용하는데 그것은 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각이다. 이들 중 시각을 활용하여 정보를 획득하는 비율이 가장 높은 것으로 알려져 있기에 인공지능을 구현하기 위한 기반기술 중 영상처리, 컴퓨터비전에 대한 수요가 매우 높다. 영상처리와 컴퓨터비전 기술은 로봇, 의료, 교육, 국방 등 다양한 분야에 필요하고, 이들 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다[1,2].

음악 분야에서도 음악악보를 다양한 형태의 장비를 통해 획득하여 이를 바탕으로 컴퓨터를 통해 자동으로 연주해 주는 기술 개발이 이루어져 왔다. 스캐너를 활용하여 악보를 영상으로 획득하던 방식에서 점차 휴대용 카메라 등을 통해 더 간단하고 편리하게 악보영상을 획득하고 있다[3]. 점차 영상촬영 장비가 소형화 되고 있기 때문에 이러한 촬영환경에 맞는 실용적인 영상처리 및 인식기술의 개발 필요성이 증가하고 있다. 음악 악보의 인식은 일반적인 영상인식보다 좀 더 복잡하고 고려해야 할 예외적인 경우의 발생빈도가 높다. 그 이유는 음악의 악보에는 음표, 박자표시, 음자리표 등 영상데이터라는 관점에서 볼 때 매우 다양하고 복잡한 패턴들이 존재하기 때문이다. 이러한 제약사항이 있기 때문에 자동으로 음악악보로부터 음표 등 연주에 필요한 기호들을 인식하고 자동으로 연주를 할 수 있도록 하는 프로그램을 개발하기 위해 많은 연구개발이 진행되어 왔다[4,5]. 통계적인 방법, 구조적 방법, 투영방법, 신경망을 이용한 방법 등이 활용되었는데, 통계적인 방법은 악보를 영상데이터로 획득한 후 이 영상에 존재하는 화소들의 통계치를 계산하여 악보를 인식한다[3]. 구조적 방법은 악보의 음표를 포함한 여러 기호들이 가지고 있는 구조를 이용한다. 악보 안에 존재하는 음표 및 여러 기호들은 규칙에 따른 모양을 가지고 있기 때문에 이러한 구조적인 요소를 활용하여 악보를 인식한다[6]. 신경망을 이용하는 방법은 악보를 영상데이터로 획득하여 영상이 가지는 특성들을 미리 학습한 후 학습된 데이터를 바탕으로 악보 내에 존재하는 여러 기호들을 인식한다[7]. 일반적으로 악보 인

식을 위해서는 영상획득, 영상의 전처리, 악보상의 기호들을 분류 및 인식의 단계를 거친다.

악보상의 기호들을 인식하기 위해서 다양한 영상처리 기법들이 활용되는데, 가장 먼저 수행되어야 할 절차들 중 하나는 오선의 제거이다. 오선은 음표의 인식률을 저하시킬 수 있기 때문에 오선을 제거하면 음표인식의 정확도를 높일 수 있다. 악보를 인식하기 위해 영상 기반의 악보를 획득할 경우 발생할 수 있는 문제점은 영상의 왜곡, 외부 조명에 의한 영상 품질 저하 등이 있을 수 있다. 기존의 연구들은 주로 이러한 왜곡, 외부 조명에 의한 오류 등을 해결하기 위해 필터링 기법을 활용하거나 기호들을 분할하는 방법, 템플릿 매칭을 사용하는 방법 등을 적용하였다[6]. 또한 악보의 음을 음성 데이터로 획득하여 음을 인식하는 방법에 대한 연구도 이루어져 왔다. 음성 데이터 기반의 악보인식은 주로 음계가 가지고 있는 주파수 대역을 바탕으로 음을 인식하기 때문에 잡음의 처리가 잘 이루어진다면 음성 기반의 음 인식을 통한 악보인식은 비교적 간단하게 수행될 수 있다[8]. 악보를 영상 기반으로 인식하기 위해서 대부분의 연구들은 가장 먼저 오선제거를 수행한다. 오선이 존재하는 영역을 히스토그램을 활용하여 검출하거나 화소값의 변화량을 활용하여 검출한다. 본 논문에서는 오선의 제거에 대한 방법을 제안한다. 기존 연구에서는 오선 인식을 한 후 동시에 제거되는 음표 빔을 복구하는 절차에 대한 연구는 활발히 이루어지지 않았다. 대부분의 기존 연구들은 왜곡된 악보영상 등의 입력을 받았을 때 정확하게 음표 및 기호들을 검출하고 인식하는 방법의 연구에 초점을 맞추었다. 본 논문에서는 오선을 제거한 후 발생할 수 있는 음표들을 이어주는 빔의 삭제 문제를 해결하는 방법을 제안한다. 영상의 형태학 연산을 활용하여 빔 부분을 복구하였으며 오선을 제거한 성공률은 최대 97% 이상의 결과를 보여주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 오선 위치의 검출에 대한 내용을 다루고 3장에서는 오선의 삭제 방법에 대한 내용을 다룬다. 4장에서 실험결과를 제시하고 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 오선 위치 검출

악보 영상을 획득하면 육안으로 보기에는 검은색과 흰색만을 가지는 이진 영상이지만, 초기에 획득한 악보 영상은 3개의 채널, 즉 빨강, 초록, 파랑 (Red, Green,

Blue)의 성분을 가지는 RGB영상이다. 악보 영상의 처리 및 오선제거를 효율적으로 수행하기 위해 획득한 영상을 그레이스케일(Gray scale) 영상으로 변환한다. 이진 영상으로 변환할 경우 예상하지 못한 잡음이 생길 수 있기 때문에 그레이스케일 영상을 사용한다. 기본적인 악보 영상은 Fig. 1과 같이 나타난다.



Fig. 1. An example of a music score image.

오선을 삭제하기 위해 가장 먼저 수행되어야 하는 것은 오선의 위치를 검출하는 것이다. 오선의 위치를 찾기 위해 오선의 세로 좌표를 먼저 추출해야 한다. 이를 위해 수평 히스토그램을 사용한다[3]. 오선은 검은색에 가까운 화소값을 가지고 있고, 오선이 아닌 영역은 음표이거나 흰 여백이다. 오선이 아닌 영역의 히스토그램은 음표에 해당하거나 음표들이 연결된 빔(Beam)에 해당하는 검은색에 가까운 화소값과 흰 여백에 해당하는 화소값이 분포되어 있고, 오선에 해당하는 영역은 검은색에 가까운 화소값이 분포되어 있다. 이렇게 화소값의 누적 분포 Fig. 2를 확인하면 오선의 위치를 추정할 수 있다. 화소값의 누적값은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. Fig. 2의 가로축과 세로축은 각각 영상의 픽셀 좌표 인덱스이다.

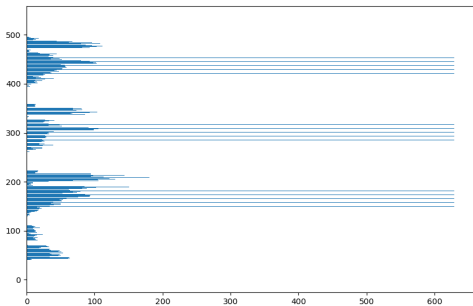


Fig. 2. The cumulative distribution of horizontal histograms.

$$C(i) = \sum_{x=x_s}^{x_e} p(x), i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

$C(i)$ 는 i 번째 수직 픽셀 위치에서의 화소값의 누적 값이고, x_s 와 x_e 는 각각 화소값이 시작되는 지점과 끝나는 지점의 수평 좌표값이다. $p(x)$ 는 수평 좌표 x 에서의 화소값을 의미한다. 식 (1)을 계산하면 오선이 있는 영역에서는 화소값에서의 검은색에 해당하는 값이 증가할 것이고 흰 여백이 많은 (또는 검은 화소값이 음표에만 존재하는) 경우에는 누적값의 증가량은 많지 않을 것이다. 이론적으로 $C(i)$ 를 각 수직 위치에서 모두 계산하면 Fig. 1에서 15군데에서 최대치를 보일 것이고, 이 15군데는 오선의 위치에 해당할 것이다.

다음으로 오선이 시작되는 영역을 찾아야 한다. 악보들의 평균 오선 시작영역을 찾기 위해 영상을 세로 방향으로 탐색한다. 그리고 가장 먼저 마주치게 되는 검은색 화소의 위치를 오선의 시작 위치로 정하고, 각 위치를 영상의 너비 대비 비율로 표시한 후, 그 비율들의 평균을 구한다. 본 연구에서 사용한 악보 영상들은 대부분 가로 방향으로 약 5% 정도의 위치에서 오선의 시작점이 검출되었다(Table 1). Table 1에서의 starting position은 전체 이미지의 폭(width)을 기준으로 오선이 시작하는 위치를 이미지의 폭에 대한 비율로 표현하였다.

Table 1. Starting point of a staff line in images of

Sample Image number	Image Width(pixel)	Starting position
Image 1	768	5.990 %
Image 2	720	2.917 %
Image 3	800	7.375 %
Image 4	718	6.128 %
Image 5	669	1.794 %
Image 6	728	6.044 %
Image 7	800	8.125 %
Image 8	793	4.792 %

히스토그램에서 구한 오선의 y축 좌표를 통해 y축 5% 위치의 해당 화소값을 $I(x, y)$ 라고 할 때 오선의 시작점을 찾기 위해서는 $I(x, y)$ 의 가로 방향으로의 이웃 화소값 (예를 들어 $I(x + 1, y)$ 또는 $I(x - 1, y)$)을 탐색하면서 급격한 화소값의 변화가 있는 영역을 오선의 시작점으로 판단한다(Fig. 3).

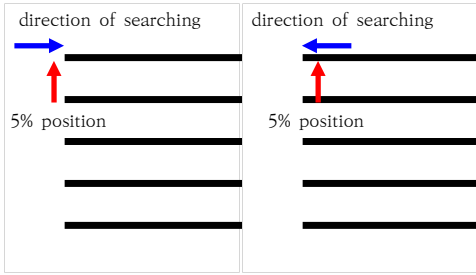


Fig. 3. An example of detection of a starting point of a staff line.

오선의 시작점을 결정하는 의사코드는 아래 Algorithm 1에 제시되어 있다.

<pre> Algorithm 1 : Determination of starting position of a staff line s = image_width * 0.05 for h to y_pos do p = 0 if image[s, h] < Threshold then while image[(s-p), h] < Threshold p += 1 endwhile x_pos = (s-p) else while image[(s+p), h] >= Threshold p += 1 endwhile x_pos = (s+p) endif endfor </pre>
<p>s : Width 기준 5% 지점 image : Gray Scale로 변환된 영상 p : s 지점에서부터 탐색하는 위치에 변화를 주는 변수 x_pos : 발견한 오선의 시작점 x 좌표들을 저장 Threshold : 오선을 판단할 임계값</p>

3. 오선 제거

오선의 제거는 오선의 위치를 검출한 후에 수행하는데, 검출된 오선들의 x 및 y 좌표를 이용한다. 악보는 2차원 영상이므로 오선 또한 일정 두께를 가지고 있다. 그러므로 검출된 x, y 좌표의 인접한 좌표 또한 오선의 영역일 경우에는 검은색, 오선의 영역이 아닐 경우에는 흰색에 가깝다고 볼 수 있다. 그리하여 검출된 오선의 위치 좌표의 인접 좌표의 화소값을 탐색해 가면서 현재의 영역이 제거되어야 할 오선의 영역인지 제거하지 않아도 되는 영역인지 결정한다. 현재 위치의 화소값이 $I(x, y)$

이고 이것이 오선에 포함된 영역일 경우 $I(x, y - 1)$ 을 확인해 보고 만약 $I(x, y - 1)$ 이 $I(x, y)$ 와 동일하다면 $I(x, y)$ 는 그대로 두고, 만약 $I(x, y - 1)$ 이 $I(x, y)$ 와 다른 값이라면 (또는 화소값의 차이가 매우 큰 차이를 보인다면) $I(x, y)$ 를 $I(x, y - 1)$ 와 같은 값으로 대체함으로써 오선을 삭제해 주는 결과를 얻을 수 있다(Fig. 4).

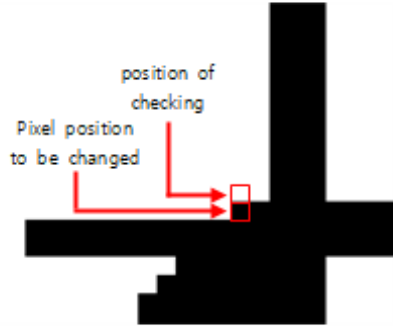


Fig. 4. Elimination of a staff-line based on pixel values.

오선을 삭제하는 알고리즘은 아래 Algorithm 2에서 의사코드로 나타내었다.

<pre> Algorithm 2. Elimination of staff lines for x = 0 to x_pos, y = 0 to y_pos do for i = x to image_width do if image[y-1, i] >= Threshold then image[y, i] = 255 endif endfor endfor </pre>
<p>x_pos : 오선 찾기과정에서 찾은 x 좌표들 y_pos : Histogram에서 찾은 오선의 y 좌표들 Threshold : 지워야하는 오선인지 판단할 임계값</p>

오선을 제거할 경우 음표들을 이어주는 빔이 함께 제거되는 경우가 발생한다. 이렇게 빔이 삭제될 경우 음표 인식의 정확도는 떨어지게 된다. 그러므로 오선을 삭제하면서 함께 삭제된 빔을 복구하는 작업을 수행한다(Fig. 5). 악보에서 음표를 삭제한 결과를 보여주었고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 오선을 제거하면서 음표들을 이어주는 빔이 동시에 삭제되어 있는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 5. Examples of results of staff-lines elimination.

오선을 제거할 때 검출된 오선의 위치에서 위와 아래 부분의 화소값을 탐색하여 탐색한 지점의 화소값과 현재 위치에서의 화소값 사이의 유사도를 이용한다. 이러한 방법으로 오선을 제거할 경우 오선과 오선 사이 또는 오선에 겹쳐있는 음표의 빔 부분이 함께 삭제될 수 있다 (Fig. 5-(b)). 이렇게 삭제가 된 음표의 빔 부분을 복구하기 위해서 본 논문에서는 영상의 형태학 연산을 사용한다. 영상의 형태학 연산은 기본적으로 침식(erosion)과 팽창(dilation)으로 분류될 수 있고, 침식과 팽창을 활용하여 열림(open)과 닫힘(close) 연산을 수행할 수 있다. 영상에서 침식연산을 수행할 경우 객체(주로 밝은색 화소를 가진 부분)의 영역은 줄어들고 배경(주로 어두운색 화소를 가진 부분)의 영역은 늘어나게 된다. 팽창 연산을 수행한 결과는 침식 연산 수행의 결과가 반대이다. 열림 연산은 객체 부분의 영역을 단순히 줄이는 것이 아니라 객체의 형태는 유사하게 보존하면서 급격한 모양의 변화가 있는 부분만 깎아내는 결과를 보여준다. 닫힘 연산은 영상의 객체 부분 중 비어 있는 부분이 있을 경우 그 부분을 채우고자 할 때 효과적으로 사용할 수 있다. 본 논문에서는 영상의 형태학 연산을 이용하여 오선 제거 작업 시 함께 제거된 음표의 빔 부분을 복구하기 위해 닫힘 연산을 적용한다. 형태학 연산을 하기 위해 우선 영상을 이진화 한다. 영상의 이진화를 위해 그레이스케일 영상에 오투(Otsu) 알고리즘을 적용한다. 오투 알고리즘은 영상을 두 부류로 나눌 때 사용할 수 있는 알고리즘이다 [9]. 원본 악보 영상을 I 라고 할 때, 오선과 음표의 빔이 함께 삭제된 영상을 I_E 라 정의한다. I_E 에 닫힘 연산을 적용하여 얻은 영상을 I_C 라 정의하면 복구된 영상 I_R 을 구한 결과식은 식 (2)으로 구할 수 있다.

이때 비교는 위에서 구한 오선의 y 좌표를 기준으로 비교를 진행한다. 사라진 빔 부분이 복구된 영상은 Fig. 6과 같이 나타 난다. 복구 알고리즘은 Algorithm 3에 의사코드로 나타내었다.



Fig. 6. An example of reconstruction of musical notes.

Algorithm 3. Reconstruction of a Beam	
for x = 0 to x_pos do	
for y = 0 to y_pos do	
if $I_E(x,y) > I_C(x,y)$ then	
$I_R(x,y) = I_E(x,y) \cup I_C(x,y)$	
endif	
endif	
endfor	
x_pos : 오선 찾기과정에서 찾은 x 좌표들 y_pos : Histogram에서 찾은 오선의 y 좌표들 I_E : 오선과 음표의 빔이 함께 삭제된 영상 I_C : I_E 에 닫힘 연산을 적용하여 얻은 영상 I_R : 복구된 영상	

4. 실험 결과

오선을 제거하고 복구하는데 걸리는 시간은 Table 2와 같다.

Table 2. Processing Time.

Sample Image	Image Size(x,y)	Process Time(sec)
하나님 내 삶에.jpg	768,1086	1.583
난파.jpg	720,1018	1.428
고향역.jpg	800,795	1.282
꿈 세 마리.jpg	718,534	0.693
꿈에 본 내 고향.jpg	669,774	0.929
바람이 불어오는 곳. jpg	728,1030	1.431
밤편지.jpg	800,1131	1.681
See you again.jpg	793,1122	1.767

오선을 삭제한 실험 결과는 Fig. 7과 Fig. 8에 나타나 있다.



Fig. 7. Experimental results of musical notes reconstruction.



Fig. 8. Experimental results of musical notes reconstruction.

오선을 삭제한 실험을 한 결과를 평가 하기 위해, 악보에 존재한 오선의 전체 픽셀수와 오선을 삭제한 후에도 남아있는 오선의 픽셀수의 비율을 계산한다 (식 (3)).

$$R = \frac{N_R}{N_T} \times 100 \tag{3}$$

N_R 와 N_T 는 각각 남아있는 오선의 픽셀 수와 전체 오선의 픽셀 수를 나타내고 그 비율을 R (단위 : 퍼센트)로 표현하고 이 값이 오선 삭제의 성증을 정량화 한다 (Table 3).

Table 3. Experimental results of error rate of the elimination.

Sample Image	Total Pixel (N_T)	Remained Ratio(R)
하나님 내 삶에.jpg	680	0.589 %
난파.jpg	664	0.151 %
고향역.jpg	649	0.144 %
꿈 세 마리.jpg	629	2.067 %
꿈에 본 내 고향.jpg	636	1.743 %
바람이 불어오는 곳.jpg	631	2.389 %
밤편지.jpg	680	1.029 %
See you again.jpg	701	0.997 %

실험 결과에서 볼 수 있듯이 악보에 따라 편차가 존재하지만 최대 2.067%의 삭제 오류율을 보이고 있다. 기존

의 연구결과들과 다르게 본 연구에서는 형태학 기반으로 오선 제거 후 발생한 빔 삭제의 복구를 수행하였고 복구를 수행한 결과는 97.5% 이상의 성공률을 보이고 있음을 확인하였다. 기존의 연구들과 유사하게 본 연구에서는 히스토그램을 기반으로 오선의 위치를 검출하였다. 화소값의 변화량을 활용하여 오선의 시작 지점을 검출하였다. 오선의 삭제는 히스토그램 기반의 오선 위치 검출 결과와 오선의 시작 지점을 활용하여 오선을 이루는 픽셀의 바로 위 픽셀의 화소값을 비교하여 오선 부분만 삭제하였다. 이 때, 빔의 위치가 오선과 비스듬히 겹칠 경우 하나씩 지우던 픽셀들의 오류가 누적되어 음표를 이어주는 빔이 함께 삭제되는 경우가 발생하는데 이를 영상의 형태학 연산을 이용하여 복구하여 오선만을 삭제한 결과를 얻을 수 있었다. 향후 연구에서는 조명에 의해 반사되는 재질이나 휘거나 끊어진 오선을 가진 악보를 활용하여 오선 삭제 및 음표 인식 하는 방법을 도출할 계획이다.

5. 결론

본 논문에서는 영상 기반의 악보인식을 위해 선행되어야 하는 작업들 중 오선 제거의 방법을 제안하였다. 기존의 연구들과 유사하게 본 연구에서는 히스토그램을 기반으로 오선의 위치를 검출하였다. 화소값의 변화량을 활용하여 오선의 시작 지점을 검출하였고 오선의 삭제는 히스토그램 기반의 오선 위치 검출 결과를 활용하였다. 위치가 검출된 오선을 삭제하면 음표를 이어주는 빔이 함께 삭제되는 경우가 발생하는데 영상의 형태학 연산을 이용하여 음표의 빔을 복구하여 오선만을 삭제한 결과를 얻을 수 있었다. 향후 연구에서는 조명에 의해 반사되는 재질을 가진 악보를 활용하여 오선 삭제 및 음표 인식 하는 방법을 도출할 계획이다.

References

[1] S-W. Jang, "A Flexible Model-Based Face Region Detection Method", Journal of the Korea Academia-Industrial Corporation Society, Vol. 22, No. 5, pp. 251-256, May, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.5.251>

[2] J-S. Oh, I-G. Chun, "Implementation of Smart Shopping Cart using Object Detection Method based on Deep Learning", Journal of the Korea

Academia-Industrial Corporation Society, Vol. 21, No. 7, pp. 262-269, July, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.262>

- [3] H-J. Son, S-H. Kim and S-R. Oh, "staff-line Detection and Removal Algorithm for Mobile Phone-based Recognition of Musical Images", Journal of the Korea Contents Association, Vol. 7, No. 11, pp. 34-42, Nov. 2007.
DOI : <https://doi.org/10.5392/JKCA.2007.7.11.034>
- [4] K-B. Kim, "Musical Score Recognition with SOM and Enhanced ART-1", The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 1064-1069, May. 2013.
DOI : <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.5.1064>
- [5] K-W. Lee and C-B. Sohn, "The Music Score Recognition System of the Robust Music Symbols Distortion for Computer Games", Journal of the Korean Society for Computer Game, Vol. 28, No. 4, pp. 17-26, Dec. 2015.
- [6] J-M. Yoo, G-H. Kim and G-S. Lee, "Music Recognition by Partial Template Matching", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 8, No. 11, pp. 85-93, Nov. 2008.
DOI : <https://doi.org/10.5392/JKCA.2008.8.11.085>
- [7] E. Kim and Y. Kim, "Design of the Audio Chord Estimation System based on Deep Neural Networks", Proceedings of KIIT Conference, pp. 532-534, June, 2018.
- [8] J. Cho, B. Yoon and Y. Kim, "Implementation of Voice Virtual-music Instrument using Frequency Analysis and Keyboard Information", Proceedings of KIIT Conference, pp. 76-80, Aug. 2004.
- [9] A. Akagic, E. Buza, S. Omanovic and A. Karavegovic, "Pavement crack detection using Otsu thresholding for image segmentation", 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, pp. 1092-1097, May. 2018.
DOI : <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400199>

이 덕 우(Deokwoo Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업(공학사)
- 2012년 12월 : North Carolina State University, USA, 전기컴퓨터공학부 석사, 박사
- 2013년 1월 ~ 2013년 4월 : Washington Univ. in St. Louis, USA, 박사후연구원
- 2013년 9월 ~ 2016년 8월 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원
- 2016년 9월 ~ 2018년 2월 : 영산대학교 가상현실콘텐츠 전공 조교수
- 2018년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 공과대학 컴퓨터공학전공 조교수

<관심분야>

신호처리, 영상처리, 컴퓨터비전

제 승 완(Seungwan Je)

[준회원]



- 2017년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터공학전공 학사과정

<관심분야>

영상처리, 영상인식, 인공지능