

카메라 기반 악보 영상 인식을 위한 오선 검출 및 삭제 알고리즘

Staff-line Detection and Removal Algorithm for Mobile Phone-based Recognition of Musical Images

손화정, 김수형, 오성열
전남대학교 공과대학 전산학과

Hwa-Jeong Son(sonhj@iip.chonnam.ac.kr), Soo-Hyung Kim(shkim@chonnam.ac.kr),
Sung-Ryul Oh(acecap@iip.chonnam.ac.kr)

요약

본 논문에서는 휴대폰 카메라에서 촬영한 악보 영상에서 오선을 검출하고 삭제하는 방법을 제안한다. 오선 검출 및 삭제는 악보 영상을 인식하기 위한 전처리 기술로서, 기울어짐이나 휘어짐과 같은 왜곡에 손상된 영상에도 효과적으로 적용할 수 있어야 한다. 제안 방법은 기울어짐이나 휘어짐의 정도에 따라 보표를 분할하여 오선을 검출한다. 보표의 분할 개수는 분할 위치에서 y 좌표값의 차이에 대한 평균값이 임계값 이하가 될 때까지 반복하여 계산한다. 따라서, 분할 개수는 기울어짐의 정도에 따라 적응적으로 추정될 수 있다. 실험을 위해, 휴대폰 카메라로 촬영한 임의 악보 영상을 $1^\circ \sim 3^\circ$ 로 기울이거나 강·약의 휘어짐을 주어 여러 가지 영상을 구성하였다. 실험 결과, 제안 방법이 실험 영상에 대해 정확한 오선 검출 및 삭제가 가능함을 보였다.

■ 중심어 : | 악보 영상 인식 | 오선 검출 및 삭제 |

Abstract

In this paper, we propose a staff-line detection and removal algorithm from a music score image obtained by a mobile phone camera. As a preprocessing technique to recognize a music score image, staff-line detection and removal should be efficiently applied to the skewed or curved images. The proposed method detects a staff-line by dividing a staff according to the degree of distortion. The number of division is calculated by dividing a staff repeatedly until an average of differences of y coordinates in every divided position is smaller than a threshold. Therefore, the number of division can be adaptively estimated according to the degree of the distortion. For an experiment, we make various kinds of images by rotating one from 1° to 3° or curving slightly upward. The results show that the proposed method performed well on the experiment images.

■ keyword : | Music Score Recognition | Staff-line Detection and Removal |

I. 서론

최근 컴퓨터 기술이 발달하면서 악보 영상을 자동으로 인식하여 연주해주는 악보 인식(Music Score

Recognition) 시스템에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 악보 영상을 획득할 수 있는 장치로는 스캐너, 디지털 카메라, 휴대폰 카메라 등 여러 가지가 있다. 기존 악보 인식에 관한 연구의 대부분은 스캐너를 통해 획득

접수번호 : #070726-003

접수일자 : 2007년 07월 26일

심사완료일 : 2007년 10월 19일

교신저자 : 손화정, e-mail : sonhj@iip.chonnam.ac.kr

한 영상을 대상으로 하고 있다. 그러나 디지털 카메라나 휴대폰과 같은 휴대가 용이한 장치를 이용하여 악보 영상을 획득하고 이를 연주해주는 악보 영상 인식 시스템을 구현하면, 실용적인 면에서 훨씬 유용할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 휴대폰 카메라로 획득한 악보 영상을 대상으로 한다.

일반적인 악보 인식 시스템은 [그림 1]과 같이 크게 전처리, 인식, 후처리의 단계로 구분된다.

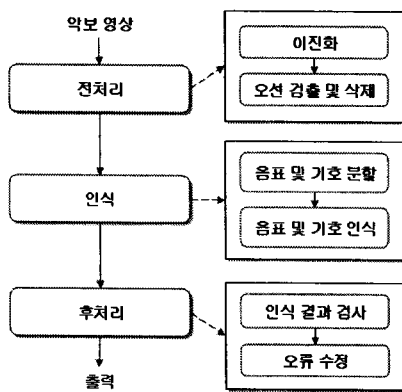


그림 1. 악보 인식 시스템의 구성도

전처리는 음표 및 기호를 인식하기 전에 필요한 모든 과정을 말한다. 악보 영상은 단순히 악보와 그 이외의 영역, 즉 흑과 백으로 표현이 가능하다. 휴대폰 카메라를 통해 촬영한 영상의 경우에는 일반적으로 칼라 영상으로 표현되는데, 이들 모든 정보를 사용할 필요가 없다. 따라서 칼라 영상을 이진 영상으로 변환하는 이진화 과정을 수행한다. 그런 다음 인식하고자 하는 음표나 기호들을 찾아내기 위해, 악보 영상으로부터 오선을 검출하고 삭제한다. 인식은 앞선 단계에서 검출한 음표나 기호들을 하나씩 인식해 나가는 과정이다. 마지막, 후처리는 마디션 정보 등을 이용하여 오인식된 음표나 기호들을 수정하는 과정을 말한다.

인식 단계는 오선을 검출하고 삭제하는 과정을 수행한 뒤 남겨진 음표나 기호들을 대상으로 하므로, 높은 인식 성능을 위해서는 보다 정확한 오선 검출 및 삭제 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서는 악보 영상의 기울어짐이나 휘어짐에 강인한(robust)한 오선 검출 및 삭제 방법을 제안한다.

II. 관련 연구

본 논문에서는 휴대폰 카메라로 촬영한 200 DPI(Dot Per Inch) 이하의 저해상도 악보 영상을 대상으로 한다. 그러나 기존의 연구들[1-9]은 대부분 스캐너를 사용한 300 DPI 이상의 고해상도 악보 영상을 대상으로 하고 있다. 기존에 제안된 오선 검출 및 삭제 방법은 수직 런-길이 코딩(vertical run-length coding), Hough 변환, 기울어짐 보정된 영상의 투영 히스토그램, DP 매칭 등이 있다.

Fujinaga[1]는 보표 검출을 위해 수평방향 히스토그램을 적용하여 오선에 해당하는 히스토그램 값이 다른 위치의 값에 비해 두드러지게 많다는 점을 이용하였다. 그러나 이 방법은 영상이 기울어지거나 휘어진 경우에는 적용하기 어려운 단점이 있다. 또한 보표가 0.4° 정도 기울어진 경우에는 히스토그램의 최대값으로 오선을 검출하기 어려움을 보였다. Argenti[2]는 오선 검출을 위해 Hough 변환을 이용하였다. Hough 변환은 일반적으로 영상 내의 직선을 검출할 때 많이 이용하는 방법으로, 점들이 이루는 직선들 중 가장 많이 겹치는 부분을 찾아 오선을 검출한다. 그러나 이 방법은 영상이 휘거나 해상도가 낮은 경우에는 적용하기 어려운 단점이 있다. Kato[3]는 수직 런-길이 코딩 방법을 이용한 오선 검출 방법을 제안하였다. 수직 런-길이 코딩은 영상을 수직방향으로 탐색할 때 연결되어있는 검은 화소의 길이(black run-length)를 측정해 나가는 방법으로, 영상 전체에 대해 수행했을 때 빈도수가 가장 많은 런-길이를 오선의 두께로 보고 이에 해당하는 부분을 오선으로 검출한다. Miyao[4]는 오선 검출 방법으로 Dynamic Planning (DP) 매칭 방법을 제안하였다. 수평방향의 오선을 연결해 주기 위해 인접 정점들 간의 연결 여부를 DP 매칭을 적용하여 계산하였다. -2°~4°까지 다양한 각도의 기울어짐에서 오선을 정확히 검출할 수 있음을 실험을 통해 증명하였다.

이들 연구 문헌은 대부분이 고해상도의 영상을 대상으로 한다. 또한 Miyao의 방법을 제외한 다른 방법들은 모두 오선의 기울어짐이나 휘어짐을 동시에 다루지 못하는 것으로 별도의 기울어짐 또는 휘어짐 보정 알고리즘

음을 필요로 한다. 그러나 본 논문에서는 휴대폰 카메라로 촬영한 영상으로, 영상 획득 시 임의 각도의 기울어짐이나 휘어짐과 같은 왜곡된 저해상도 영상을 다루어야 한다. 따라서 본 논문에서는 악보 영상을 기울어짐 정도에 따라 수직 방향으로 분할하고 분할된 영역에 대해서 반복적으로 오선을 검출하고 삭제하는 방법을 제안한다. 기울어짐이나 휘어짐이 최소화되도록 분할한 영역에 대해 오선 검출 및 삭제를 수행하므로 악보 인식의 정확도를 높일 수 있으며, 동시에 속도의 최적화를 이룰 수 있다.

III. 오선 검출 및 삭제 방법

제안 방법을 기술하기 전에 본 논문에서 사용하는 몇 가지 용어에 대해 설명한다. 오선(staff-line)은 악보 영상에서 수평 방향으로 짧고 길게 나타나는 5개의 선을 말하는 것으로 각 선은 일정한 간격을 두고 나타난다. 보표(staff)는 5개의 선과 음자리표로 구성된 형태를 말하는 것으로, 몇 개의 보표로 구성되어있는지에 따라 작은 보표(small staff), 큰 보표(grand staff), 모음 보표(score)로 구분한다. 그리고 음표나 기호 등은 보표의 일정 영역 내에 위치하게 된다. 오선 간격(staff-line space)은 하나의 보표 내에 오선들 간의 간격을 말한다.

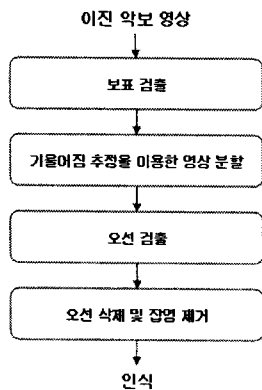


그림 2. 오선 검출 및 삭제 방법의 구성도

본 논문에서 제안한 오선 검출 및 삭제 방법은 [그림

2]와 같이 크게 4 가지 (보표 검출, 기울어짐 추정을 이용한 영상 분할, 오선 검출, 오선 삭제 및 잡영 제거) 단계로 구성된다.

1. 보표 검출

보표는 5개의 오선으로 구성된 것으로, 악보 영상의 전체 너비에 걸쳐 직선의 형태를 띠고 있다. 따라서 간단히 수평방향 히스토그램을 적용하면 보표를 검출할 수 있다. [그림 3]은 임의 악보 영상에 대한 수평방향 히스토그램의 계산 결과 및 보표에 해당하는 영역을 보여준다.

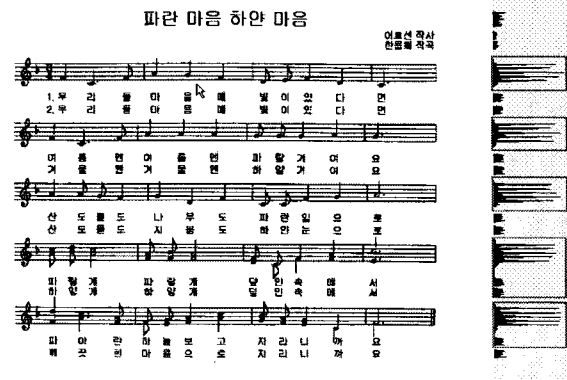


그림 3. 수평방향 히스토그램 수행 결과

보표를 검출하는 방법은 다음과 같다. 먼저, 수평방향 히스토그램을 수직 방향으로 탐색해 가면서 0이 아닌 값을 연속적으로 갖는 런(run)들을 계산한다. i 번째 런의 시작점과 끝점을 각각 ys_i, ye_i 라고 표기할 경우, i 번째 런에 대한 히스토그램의 누적값 H_i 는 수평방향 히스토그램 h 를 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$H_i = \sum_{y=ys_i}^{ye_i} h(y) \quad (1)$$

기준값 θ 는 식 2와 같이 모든 런 중 최대 누적값으로 선택하고, 최종적으로 식 3과 같이 기준치의 75% 이상의 누적값을 갖는 런을 보표라고 판단한다.

$$\theta = \text{MAX}\{H_i\} \quad (2)$$

$$\text{if } (H_i \geq \theta \times 0.75) \text{ then } i == \text{보표} \quad (3)$$

[그림 4]는 [그림 3]으로부터 보표 영역을 검출한 결과를 보여준다. 보표라고 판단되지 않은 제거된 영역에는 제목, 가사, 작곡가 및 작사가 등이 포함된다. 그리고 수평방향 히스토그램에서 보표와 연결된 가사의 경우에는 완전히 제거되지 않음을 알 수 있는데, 이는 오선 검출 이후 삭제 가능하다.



그림 4. [그림 3] 영상에 대한 보표 검출의 예

2. 기울어짐 추정을 이용한 악보 영상 분할

기울어짐이 전혀 없는 악보 영상의 경우 보표 내의 오선을 검출하는 방법은 간단히 수평방향 히스토그램을 적용하면 계산이 가능하다. 그러나 휴대폰 카메라로 획득한 영상에는 기울어짐이 존재하게 되어 수평방향 히스토그램만을 이용하는 것은 적절하지 않다.



그림 5. 왜곡된 영상의 수평방향 히스토그램:
(a) 원본 영상, (b) 1°기울어진 영상,
(c) 2°기울어진 영상, (d) 휘어진 영상

[그림 5]는 기울어짐 정도에 따른 보표의 수평방향 히스토그램의 예를 보여준다. [그림 5(a)]의 경우 수평방향 히스토그램을 보면, 오선에 해당하는 위치에서 두드러지게 높은 값을 가지고 있어 오선을 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 1° 이상 기울어진 경우에는 이러한 방법으로는 검출이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 기울어진 영상에서 오선을 검출하기 위한 방법으로 기존 연구는 대부분 기울어짐 보정 과정을 수행한다. 그러나 본 논문에서는 기울어짐 보정을 수행하지 않고 보표를 기울어짐 정도에 따라 수직방향으로 분할하여 오선을 검출한다. 보표를 몇 개로 분할할 것인지 분할 개수 n 을 추정하는 방법은 다음과 같다.

앞 단계에서 계산된 각 보표 영역에 대해 분할 개수 n 을 추정한다. 오선의 기울어짐을 고려하여 계산하기 때문에 기울어짐이나 휘어짐 정도에 따라 분할 개수는 달리 추정된다. 계산 과정은 다음과 같다.

[단계 1] n 은 반복횟수 $\times 4$ 로 정한다. 초기 반복횟수는 1로 설정한다.

[단계 2] $k(=n-1)$ 개의 위치를 기준으로 수직방향으로 탐색해가면서 처음 만나는 검은 화소의 y 좌표(y_1, y_2, \dots, y_k)를 계산한다. 기준이 되는 점 x_i 는 다음과 같이 계산한다. 이때 W 는 전체 영상의 너비이다.

$$x_i = \frac{W}{n} \times i, \quad (i = 1, \dots, k) \quad (4)$$

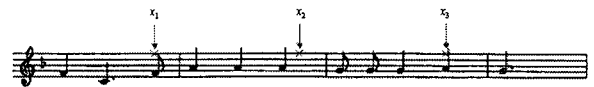


그림 6. 기준점 결정의 예 ($n=4$ 인 경우)

[단계 3] i 번째 정점과 이와 인접해있는 두 정점을 선택하여 세 정점 간의 y 좌표값의 거리를 다음과 같이 계산한다.

$$\text{dist}_i = |y_{i+2} - y_{i+1}| + |y_{i+1} - y_i| \quad (5)$$

이때 세 개의 정점을 고려하므로, 마지막 2개의 정점을 제외한 모든 홀수번째 정점들에 대해 동일한 방법으로 거리를 계산한다. 결과적으로, 전체 k 개의 분할 정점에 대해 $n/2-1$ 개의 거리를 계산할 수 있고 이들을 다음과 같이 평균한다.

$$\mu_{dist} = \frac{\{dist_1 + dist_3 + \dots + dist_{k-2}\}}{n/2-1} \quad (6)$$

[단계 4] 모든 점에 대하여 μ_{dist} 가 1.0보다 크거나 반복 횟수가 10회 미만일 동안 단계 1~3을 반복하여 수행한다. 이때 반복횟수는 1씩 증가한다.

[단계 5] k 값을 출력한다.

아래 [그림 7]은 기울어짐이 거의 없는 악보 영상과 이 영상을 1° 기울인 악보 영상에 대해 분할 개수를 추정한 결과이다. 기울어짐이 거의 없는 일반 악보 영상의 경우 8개로 분할되었지만, 이 영상을 1° 기울였을 경우에는 28개, 그리고 2° 기울였을 경우에는 40개로 분할되어 기울어진 정도에 따라 분할 영역의 개수가 증가하는 것을 알 수 있다.

3. 각 분할 영역에서의 오선 검출

기울어짐의 변화량을 이용해 분할 개수를 추정하여 악보 영상을 분할하고, 분할된 영역 각각에 대해 오선을 검출한다. 오선 검출을 위해 먼저 오선의 길이를 추정한다. 오선의 길이는 분할 영역에 대한 수평방향 히

스토그램의 최대값(max_hist)과 평균값(avg_hist)을 이용하여 다음 식과 같이 계산한다.

$$T = \frac{max_hist + avg_hist}{2} \quad (7)$$

추정한 오선 길이를 임계값(T)으로 선택하고 이보다 큰 히스토그램 값을 갖는 위치 모두를 오선 후보로 선택한다.

$$\text{if } h(y) > T \text{ then } Line_j = \text{오선 후보} \quad (8)$$

여기서 [그림 8]과 같이 대로 연결된 음표가 오선과 겹친 경우, 오선 검출 시 그림과 같이 오선과 구분이 어려운 문제가 발생한다.

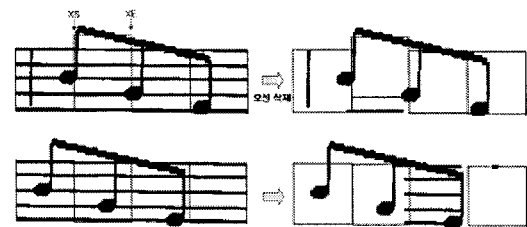


그림 8. 대로 연결된 음표가 오선과 겹친 경우

본 논문에서는 j 번째 오선에서 해당 픽셀 또는 그 픽셀의 상·하 한 픽셀이 검은 화소인 경우의 수 $N(Line_j)$ 를 세어 이 값이 분할 영역 너비의 80%보다 큰 경우만을 오선 후보로 간주함으로써 이를 해결한다.

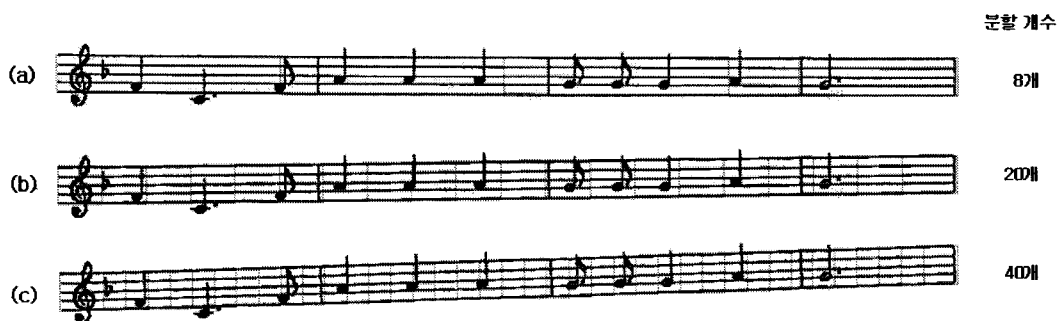


그림 7. 보표의 기울어짐 정도에 따른 분할 개수 추정 결과: (a) 기울어짐이 거의 없는 영상, (b) 1° 기울어진 영상, (c) 2° 기울어진 영상

여기서 XS 와 XE 는 각각 분할 영역의 시작점과 끝점을 나타낸다.

$$\begin{aligned} &\text{if } N(\text{Line}_j) \geq (XE - XS + 1) \times 0.8 \\ &\text{then Line}_j = \text{오선 후보} \\ &\text{else Line}_j \neq \text{오선 후보} \end{aligned} \quad (9)$$

오선 후보들이 선택되면, [그림 9]와 같이 이들 각 오선에 대해 수평방향 히스토그램을 탐색해 나가면서 오선의 시작점과 두께를 계산한다. 오선의 시작점은 수평방향 히스토그램에서 임계값 이상인 처음 지점을 오선의 시작점으로 보고 연속적으로 임계값 이상인 길이를 그 오선의 두께라고 판단하여 오선의 시작점 및 너비를 계산한다.



그림 9. 오선 후보의 시작점 및 두께 계산

본 논문에서는 보표를 n 개의 분할 영역에 대해 반복적으로 수행하기 때문에 수평방향 히스토그램만을 이용하면 불임줄과 오선의 구분이 어려운 문제가 발생한다. 따라서, 오선 후보에서 실제 오선을 선택하는 과정에서 [그림 10]과 [그림 11]에 나타난 두 가지 경우를 고려한다. 첫 번째는 오선 사이에 불임줄이 있는지를 판단하는 것으로, 이는 간단히 오선 간의 간격 차이를 비교하면 구분 가능하다. 즉, 인접한 두 오선 간 간격의 합과 그 다음 오선 간격의 차이가 3 픽셀 이하일 경우, ①과 ② 사이에 불임줄이 있다고 판단하고 이를 오선 후보 대상에서 제거한다.

$$\text{if } (|(\text{①}+\text{②})-\text{③}| \leq 3) \text{ then Line}_2 \text{ 삭제} \quad (10)$$

두 번째는 오선의 인접 영역에 불임줄이 있는지를 판단한다. 오선 간격의 차이가 5 픽셀 이상이 되면 오선이 아니라고 판단하여 오선 후보에서 제거한다.

$$\text{if } (|\text{①}-\text{②}| \geq 5) \text{ then Line}_2 \text{ 삭제} \quad (11)$$

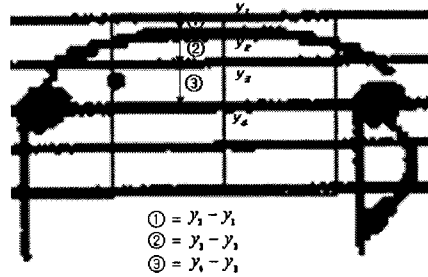


그림 10. 오선 사이에 불임줄이 있는 보표

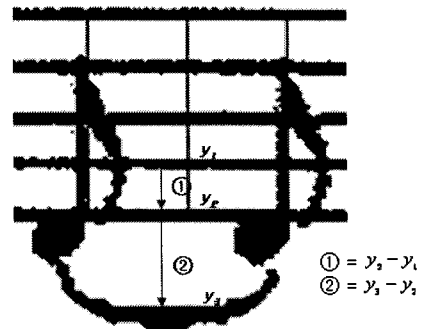


그림 11. 오선의 인접 영역에 불임줄이 있는 보표

4. 오선 삭제 및 잡영 제거

최종적으로 선택된 오선을 음표나 기호와 겹친 영역은 제외하고 삭제한다. 음표나 기호가 오선과 겹쳐 있는지의 여부는 오선 시작점의 상·하로 연결된 점은 화소의 개수가 오선 두께의 2배 이상인지 아닌지를 보고 판단한다. 즉, 연결된 점은 화소의 수가 오선 두께의 2배 이상이면 음표나 기호와 겹쳐있는 오선이라 판단하고 해당 좌표는 삭제하지 않고, 그렇지 않은 경우에는 오선만 있다고 판단하고 이를 삭제한다. [그림 12]는 이러한 과정을 보여준 예이다.

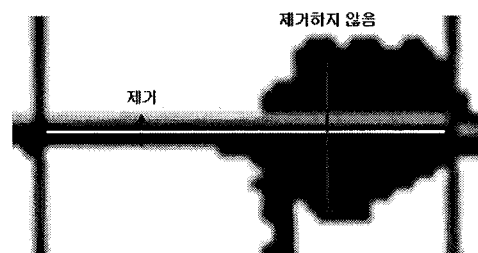


그림 12. 오선 삭제의 판단 기준

오선을 삭제한 뒤에도 약간의 잡영이 존재하게 되는데 이를 추가적으로 제거하여 보다 정확한 음표 및 기호를 검출한다. 이를 위해, 먼저 연결요소 분석을 이용

하여 검은 화소로 연결되어 있는 요소들을 각각 하나의 객체(object)로 묶는다. 추출된 객체들 중 너비가 오선 간격의 1/4보다 작으면 잡영으로 판단하여 제거한다.

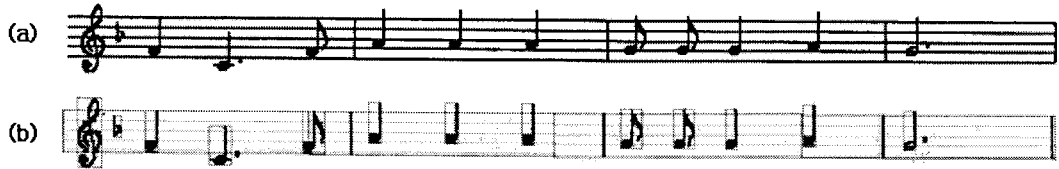


그림 13. 기울어짐이 거의 없는 경우; (a) 원 영상, (b) 결과 영상

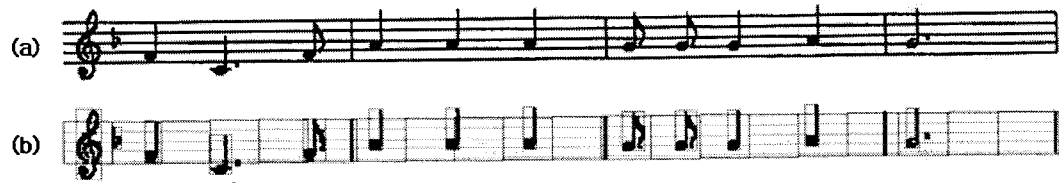


그림 14. [그림 13]을 1°기울인 경우; (a) 원 영상, (b) 결과 영상

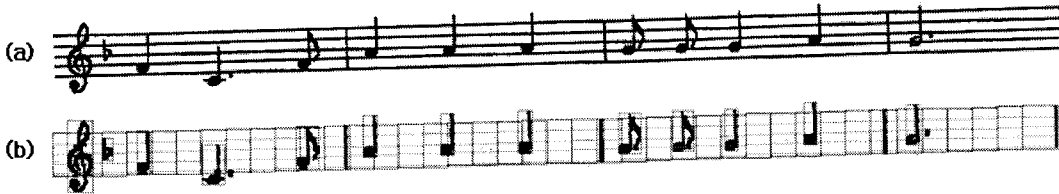


그림 15. [그림 13]을 2°기울인 경우; (a) 원 영상, (b) 결과 영상

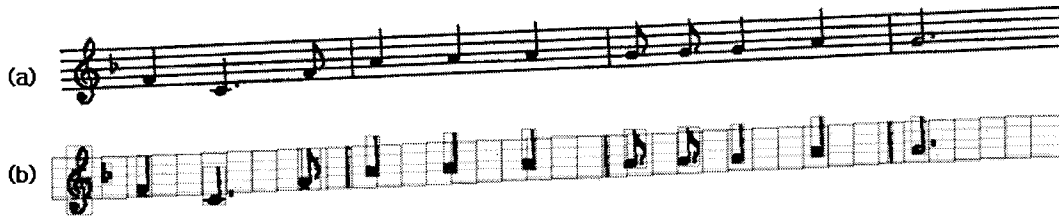


그림 16. [그림 13]을 3°기울인 경우; (a) 원 영상, (b) 결과 영상

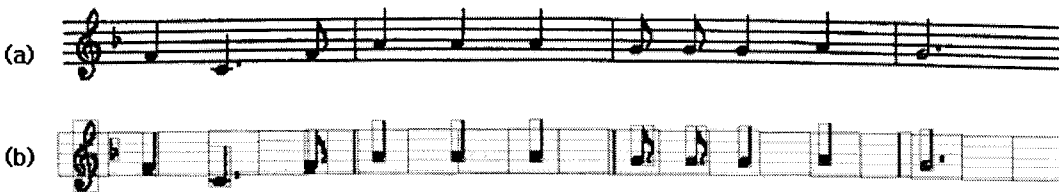


그림 17. [그림 13]을 약간 왜곡시킨 경우; (a) 원 영상, (b) 결과 영상

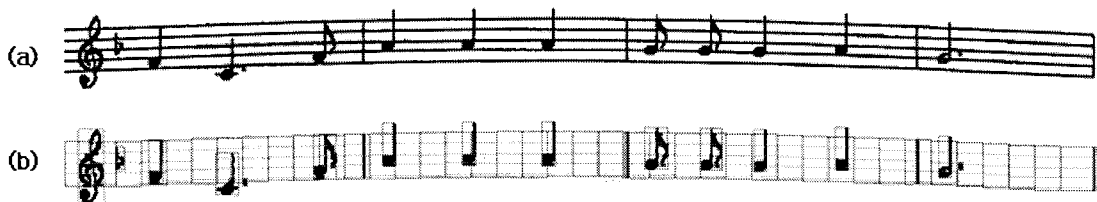


그림 18. [그림 13]을 심하게 왜곡시킨 경우; (a) 원 영상, (b) 결과 영상

IV. 실험 및 결과

지금까지 악보 영상에서 음표 및 기호를 인식하기 위한 전처리 단계로 오선을 검출하고 삭제하는 방법을 서술하였다. 제안 방법은 기울어지거나 휘어진 악보 영상에 대해 별도의 기울어짐이나 휘어짐을 보정하지 않고서도 오선 검출 및 삭제가 가능하다. 제안 방법의 성능을 평가하기 위해, 임의의 악보 영상을 여러 각도로 기울이거나 강·약을 주어 다양하게 굴곡을 만든 영상에 대한 실험 결과들을 비교해 본다. 그림 13~18은 1°~3°로 기울어진 경우와 휘어진 정도를 강, 약으로 조절하여 왜곡된 경우에 대한 오선 검출 및 삭제 결과를 보여준다. 그림에서 본 것과 같이, 다양한 조건의 왜곡이 가해진 경우에도 제안 방법은 일관되게 오선을 정확히 검출하고 삭제하는 것을 볼 수 있다.

V. 결론 및 고찰

본 논문에서는 휴대폰 카메라에서 촬영한 악보 영상을 자동으로 인식하고 연주하는데 필요한 기술 중 하나로 오선을 검출하고 삭제하는 방법을 제안하였다. 오선을 검출하기 위해 기울어짐 정도에 따라 서로 다른 개수로 보표를 분할하고, 분할한 각 부분에 대해서 오선을 검출한다. 보표를 분할하는 것은 기울어짐이나 휘어짐이 거의 없도록 하는 것으로, 별도의 기울어짐 보정 과정이 필요하지 않다.

실험을 통해 1°~3°로 기울어진 영상과 휘어진 영상에 대해 오선 검출 및 삭제가 정확하게 수행됨을 증명하였다. 악보 영상이 3°이상 기울어진 경우에는 제안 방법을 통한 오선 검출 및 삭제 과정에서 많은 오류가 발생하였다. 그러나 3°이상은 기울어짐은 그 정도가 매우 심한 경우로, 본 논문에서의 제안 방법이 실생활에서 휴대폰 카메라를 이용해 촬영할 때 발생할 수 있는 기울어짐이나 휘어짐 정도는 충분히 다룰 수 있다고 판단된다.

기존 악보 영상 인식에 관한 연구는 휴대폰 카메라가 아닌 스캔으로부터 얻은 영상에 대한 것으로 그 실효성

에 있어 많은 제약 사항이 따르는 단점이 있다. 반면, 제안 방법은 현대 사회에서 누구나 가지고 있는 휴대폰 카메라를 이용한 것으로 그 활용 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

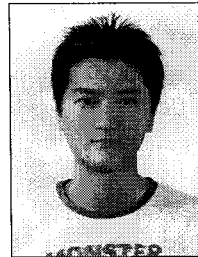
참 고 문 헌

- [1] I. Fujinaga, "Optical Music Recognition Using Projections," Master's thesis, McGill University, Faculty of Music, Montreal, Canada, 1988.
- [2] A. Argentini, C. Combi, G. L. Foresti, C. Mirolo, A. Montanari, and A. Peron, "A Multimedia System for Automatic Recognition, Indexing and Retrieval of Heterogeneous Music Documents," Proceedings of 13th Colloquium on Musical Informatics, Vol.2, No.5, pp.133-136, 2000.
- [3] H. Kato and S. Inokuchi, "A Recognition System for Printed Piano Music Using Musical Knowledge and Constraints," Structured Document Image Analysis, H. Baird, H. Bunke and K. Yamamoto, eds. Springer Verlag, pp.435-455, 1992.
- [4] H. Miyao and M. Okamoto, "Stave Extraction for Printed Music Scores Using DP Matching," Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.8, No.2, pp.208-215, 2004.
- [5] D. Blostein and H. S. Baird, "A Critical Survey of Music Image Analysis," Structured Document Image Analysis, H.S. Baird, H. Bunke, and K. Yamamoto, eds., Springer Verlag, pp.405-434, 1992.
- [6] K. T. Reed and J. R. Parker, "Automatic Computer Recognition of Printed Music," Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition, Vol.3, pp.803-807, 1996.

- [7] D. Bainbridge and T. C. Bell, "The Challenge of Optical Music Recognition," *Computers and the Humanities*, Vol.35, No.2, pp.95-121, 2001.
- [8] 박철우, 황인성, 정동석, "인쇄 악보의 자동 인식 및 연주를 위한 연구", *대한전자공학회 추계종합 학술대회논문집*, 제16권, 제2호, pp.653-656, 1993.
- [9] 황영길, 김성천, "인쇄 악보의 인식과 병렬 알고리즘에 관한 연구", *한국통신학회논문집*, 제19권, 제5호, pp.959-970, 1994.

오 성 열(Sung-Ryul Oh)

준회원



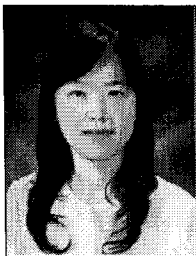
- 2005년 8월 : 목포대학교 정보공학부 멀티미디어학과 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 전산학과 석사과정

<관심분야> : 패턴인식, 문서영상 정보검색, 유비쿼터스컴퓨팅

저 자 소 개

손 화 정(Hwa-Jeong Son)

정회원



- 2001년 8월 : 전남대학교 통계학과 (이학사)
- 2004년 2월 : 전남대학교 전산학과 (이학석사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 전산학과 박사과정

<관심분야> : 패턴인식, 문서영상 정보검색

김 수 형(Soo-Hyung Kim)

정회원



- 1986년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

- 1990년 9월 ~ 1996년 12월 : 삼성전자 멀티미디어 연구소 (선임연구원)
- 2000년 12월 ~ 2002년 1월 : 캐나다 Concordia 대학 CENPARMI 연구소 (방문교수)
- 1997년 1월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

<관심분야> : 인공지능, 패턴인식, 유비쿼터스컴퓨팅