

다중 골프 스윙 궤적을 사용한 골프 스윙 분석

시종욱*, 김성영**

Golf Swing Analysis using Multiple Golf Swing Trajectories

Jongwook Si*, Sungyoung Kim**

이 연구는 금오공과대학교 대학 학술연구비로 지원되었음(2021년도)

요 약

오랜 시간 동안 골프에 대한 인기가 증가함에 따라 골프 관련 기술도 지속해서 발전하고 있다. COVID-19로 인해 활동에 제약이 있지만, 실외에서 활동이 이루어지는 골프는 COVID 상황에서 오히려 증가하는 추세이다. 특히 최근에는 젊은 층에서도 골프를 즐기는 숫자가 증가하면서 골프를 쉽게 배우고 자세 교정할 수 있는 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 실내 골프 산업에 초점을 맞추어 Kinect를 이용한 골프 스윙을 분석하여 평가하는 방법을 제안한다. 전문가 그룹인 대조군의 여러 스윙을 이용하여 호텔링 변환행렬을 구하고, 사용자인 원본군 스윙을 이 행렬에 사상하여 변환된 궤적을 생성한다. 그리고 기존 원본군의 스윙과 변환된 원본군의 스윙 사이의 유사도를 점수로 환산하여 제시한다. 고유벡터의 개수 및 대조군의 개수에 따른 실험을 통해 제안한 방법의 타당성을 확인하였다.

Abstract

As the popularity of golf increases over a long period of time, related golf technologies also continue to develop. Although there are restrictions on activities due to COVID-19, golf in which outdoor activities are performed is on the rise regardless of the COVID situation. In particular, as the number of young people enjoying golf has increased recently, there is an increasing demand for technology to easily learn golf and correct posture. This paper proposes a method of analyzing and evaluating golf swings using Kinect, focusing on the indoor golf industry. The hotelling transformation matrix is obtained using several swings in the control group, and the original group swing is conceived in this matrix to generate a converted trajectory. In addition, the similarity between the swing of the existing original group and the swing of the converted original group is converted into a score and presented. It was proved that it was a valid method through experiments according to the number of eigenvectors and the number of controls.

Keywords

golf swing, kinect, hotelling transform, principal component analysis(PCA), swing trajectory, swing analysis

* 금오공과대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2092-2769>
** 금오공과대학교 컴퓨터공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7722-6759>

• Received: Dec. 17, 2021, Revised: Jan. 24, 2022, Accepted: Jan. 27, 2022
• Corresponding Author: Sungyoung Kim
Dept. of Computer Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 61
Daehak-ro (yangho-dong), Gumi, Gyeongbuk, [39177] Korea
Tel.: +82-54-478-7530, Email: sykim@kumoh.ac.kr

I. 서 론

현대에서는 개개인이 관심이 있는 스포츠 생활을 하나 이상씩 가지고 있고, 이에 따라 스포츠 중 하나인 골프 산업이 크게 발전하고 있다. 1998년에 박세리 선수의 세계 메이저대회의 우승 및 1999년 김대중 전 대통령의 ‘골프 대중화 선언’에 따라 2000년대 초반부터 국내의 골프 산업이 조금씩 발전했다[1]. 2006년부터 2019년까지의 국내 골프장 이용객 수의 통계에 따르면 2006년과 비교했을 때, 이용객 수가 2배 이상 증가했음을 알 수 있다. 하지만, 2011년부터 2020년까지 골프장 이용료 추이를 보았을 때, 매년 입장료 및 이용료가 증가하고 있음을 보인다. 2015년부터 2017년까지 실외 골프 연습장은 24.1%로 감소하였고, 스크린 골프의 경우 48.7%로 큰 폭의 증가세를 보였다[2].

2019년 12월 중국 우한에서 시작되어 2020년 1월 대한민국까지 침투한 코로나 바이러스 감염증으로 인하여 외출을 자제하는 경향이 나타났다. 하지만 2020년의 경우 이례적으로 실내 골프 연습장의 감소와 실외 골프 연습장의 증가가 나타났다[3]. 단계별 각종 시설들이 제한되는 사회적 거리두기에서 실외 골프장의 경우 적용기준이 없었기 때문이다. 반면 실내 골프장은 이용자 간의 거리두기에 제약이 있어 감소세를 보인다. 2021년 12월에는 7,000명 이상의 확진자가 발생하였지만[4], 골프의 인기는 계속 증가하고 있다.

본 논문에서는 외출하지 않고 자택에서 골프 연습을 할 수 있는 것에 초점을 맞추어 스스로 골프 스윙을 코칭 받을 수 있는 시스템을 제안한다. 또한, 여러 대조군(전문가)의 스윙에 대하여 원본군(사용자)의 단일 스윙을 대조군에 대해 사상하여 평가하는 방법을 보인다. 평가 간에, 키넥트로부터 얻은 정보 중에 왼손 좌표만을 사용하여 궤적을 구성하여 진행한다.

키넥트란, 깊이 정보를 제공하는 저가의 카메라이다. 사람의 신체 부위 나 포즈에 관한 정보를 실시간으로 제공해줄 수 있는 특징을 지닌다. 따라서 HCI 및 게임에서 주로 응용되고 개발되고 있다[5]. 이에 따라, 키넥트를 이용하여 골프 자세나 스

윙을 분석하는 많은 연구가 있었다[6]-[14].

호텔링 변환은 PCA와 동일한 의미이며, 데이터의 차원을 낮추는 데 주로 사용되는 기법이다. 본 논문에서는 다중 궤적을 재구성하기 위하여 x , y 값을 독립적으로 구성한다. 그리고 고윳값의 크기에 대하여 고유 벡터들을 내림차순으로 정렬한다. 생성한 호텔링 변환 행렬을 이용해서 원본의 궤적을 사상하고, 사상된 궤적과 원본 궤적 사이의 거리를 이용해 점수를 계산한다.

II. 관련 연구

2.1 골프 자세 교정 프로그램

골프 자세를 손쉽게 교정할 수 있는 프로그램은 여러 분야에서 개발이 진행되고 있다. 김한별 연구팀은 골프 스윙의 구간을 4개로 나누기 위하여, 키넥트를 이용하여 양손, 골반, 어깨의 값을 이용하여 구분하였다[6]. 손현철 연구팀은 사용자에게 6가지의 뷰를 제공하고 자신의 골프 자세와 몸의 중심, 각도, X-Factor 등을 이용해 데이터를 비교하는 방법을 제시하였다[7]. 김호한 연구팀은 구간 간의 궤적의 유사도를 보이기 위하여, 궤적의 좌표들을 등차 형태로 수정하였다[8]. 이후에 스케일링 및 이동하여 궤적을 원점으로 이동시키고, 좌표 간의 거리를 이용하여 점수를 계산했다. 이 논문의 예비 연구[9]에서는 PCA를 사용해 이중 궤적을 재구성하고 상관계수를 이용해 평가하는 방법을 제안하였다. 하지만 일대일 비교라는 점에서 신뢰도가 떨어지며 본 논문에서는 이를 해결한 방법을 제시한다.

2.2 골프 스윙 분석

골프 스윙을 분석하는 연구는 오래전부터 진행되어져 왔다. 민병기는 키넥트 한 대를 이용하여 관절 정보와 깊이 정보를 이용하여 키 프레임에서 스윙의 특징들을 자동으로 추출하는 방법[10], H. Ku 연구팀은 접촉과 비접촉 감지로 나누어 웨어러블 센서와 키넥트를 사용하여 골프 스윙을 분석하는 방법[11]을 제안했다.

고경리 연구팀은 스윙 모션 데이터를 이용하여 드라이버 및 7번 아이언 클럽을 이용하여 일반인과 프로 간의 모션 차이를 확인[15] 하였으며, 광기영 연구팀은 골프 스윙 동작을 이용하여 생성한 스윙 모델을 기반으로 시뮬레이션한 결과에 따라 하중을 분석했다[16].

이주성 연구팀은 전체 자세가 아닌 영상처리를 기반으로 스윙 궤적을 추출하는 방법[17], 황세현 연구팀은 관성 센서 하나를 이용하여 손의 움직임 정보를 추출하고, 카메라를 이용하여 골프채 헤드의 궤적을 추적하여 스윙을 직관적으로 분석하는 방법 [18], Z. Zhang 연구팀은 골프 스윙 시그니처를 인식하기 위한 LSVM 모델과 게이지 센서를 이용하여 정확하고 효과적으로 인식하는 방법[19]을 제안했다.

Y. Kim 연구팀은 관성 센서 및 스윙 모션 분석 알고리즘을 이용하여 위치 분석 시스템을 개발하고, 이를 이용하여 골프 스윙을 분석[20] 하였으며, 김지훈 연구팀은 골프 스윙 간의 자세에서 머리의 움직임의 중요성에 초점을 맞추어 Faster R-CNN 기반으로 머리를 인식하여 높은 성능을 냈다[21].

그리고 고경리 연구팀은 단일 카메라의 한계를 극복하고 3차원 정보를 이용하기 위하여 CNN으로 연속적인 영상의 특징을 추출하고 각 분석 모델을 통하여 3차원의 분석이 가능함을 확인[22]하였고, 조안나 연구팀은 2개의 IMU 센서를 통하여 얻은 데이터를 머신러닝을 이용하여 X-factor를 추정하였으며, 7명의 피실험자를 통해 실험한 결과 좋은 성능을 보였다[23].

이진명 연구팀은 COP 궤적 이미지와 CNN을 이용하여 골프 스윙으로 숙련자와 초보자를 구분하는 시스템을 제안[24] 하였으며, 주재한은 골프 스윙 동작 개선에서 즉각적인 피드백에 초점을 맞추었고, 스윙 동작에 관한 지식을 기반으로 스마트 센서를 활용하여 육안으로 확인 및 분석에 대한 기능을 제공했다[25]. 그리고 S. Stančin 연구팀은 웨어러블 모션 센서를 사용하여 골프 스윙의 데이터를 얻고, 적절히 수행된 스윙에 PCA를 적용하여 허용이 가능한 모션 편차의 PCA 성분을 결정하여 초기 단계에서 부적절한 스윙 동작을 감지했다[26].

2.3 골프 스윙 분류

골프 스윙을 각 구간 별로 분류하는 연구는 활발히 진행 중이다. 박준욱 연구팀은 키넥트와 퍼지 시스템을 기반으로 분류하였는데, 손의 좌표와 클럽 헤드를 이용하여 스윙 동작을 7가지로 분류하는 방법을 제안했다[12].

L. Zhang 연구팀은 골퍼의 스켈레톤을 포착하는 목적에 키넥트를 사용하고 HMM- NF 모델을 사용하여 점수를 평가하여 높은 정확도로 골프 스윙을 효과적으로 채점을 가능하게 하였으며[13], L. Jiao 연구팀은 다중 센서 골프 스윙 신호를 입력으로 하는 Deep CNN을 기반으로 골프 스윙 데이터를 분류하는 방법을 제안하여 CNN 기반 모델이 골프 스윙을 분류하는 것에 적합함을 보여주었다[27].

이후 연구에서는 다양한 골프 선수의 스윙 데이터를 그룹화하고 컨볼루션 신경 분류기, 가속도계 및 자이로스코프 등의 센서들을 이용하여 분류하였다[28]. 고경리 연구팀은 단일 카메라를 기반으로 동영상에 대한 전이학습을 이용하여 골프 스윙 구간을 자동으로 분류하는 시스템을 보여주었다[29].

2.4 유사도 평가

L. Zhange 연구팀은 키넥트를 이용하여 얻은 정보를 벡터 양자화를 통해 시퀀스로 변환 후, GMM 모델과 GMM-KL divergence 커널을 이용하여 골프 스윙의 점수를 매기는 방법을 제안하였다[14].

J. Wobbrock 연구팀은 정해진 템플릿에 대하여 리샘플링, 회전, 변환 등의 자체적 알고리즘을 통해 새로운 제스처와의 유사도를 구해 쉽게 인식할 수 있는 \$1 recognizer를 제공하였다[30]. 박진관 연구팀은 궤적들 간의 인접성을 이산프레셰 거리를 통하여 빠른 속도로 구분할 수 있는 알고리즘을 제안하고 95%의 높은 정확도를 보였다[31]. 홍지혜 연구팀은 대표 빈발 부분 그래프들을 이용하여 Hausdorff 거리와 두 그래프와의 최대 공통 부분 그래프를 기반으로 유사도를 측정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다[32]. 길선웅 연구팀은 안드로이드 환경에서 코사인 유사도 측정을 이용한 인증 방식을 제안하였다[33].

III. 골프 스윙 궤적 분석

전문가 그룹인 대조군들의 골프 스윙을 이용해 사용자가 연습할 때, 개인마다 신체적인 구조가 달라 동일하게 따라 할 수 없다. 기존의 궤적 유사도 비교 방법은 궤적이 유사한 경우에만 유사도 값이 크게 나타나므로 신체 구조의 차이에 따라 스윙 궤적이 달라질 때에는 유사도 평가가 정확하게 이루어지지 않을 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 원본군의 스윙과 대조군의 신체로 사상된 원본군의 스윙의 비교를 통해 평가하는 방법을 제안한다. 먼저, 데이터들의 개수를 동일하게 하여 대조군들의 궤적을 하나의 행렬로 정의하고 (3.1), 이를 통해 호텔링 변환 행렬을 생성한다 (3.2). 이를 원본군의 스윙을 통해 사상하고 (3.3), 기존의 원본군의 스윙과 변환된 원본군의 스윙을 비교한다 (3.4). 스윙 궤적 전처리와 Score 측정은 \$1 recognizer[30]에서 제안한 방법을 응용한다.

3.1 스윙 궤적 전처리

원본군과 대조군의 스윙 궤적 데이터를 비교하기 위해서는, 행렬 연산이 필요하므로, 각 궤적의 크기는 동일해야 한다. 또한, X·Y 좌표를 따로 구성하여 데이터 간의 일관성을 확보한다. 해당 궤적의 데이터 개수를 f 라 고정할 때, 데이터 간 차이의 평균 거리(l)는 식 (1)과 같이 계산한다.

$$l = \frac{1}{f-1} \sum_{i=1}^{f-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (1)$$

평균 거리 l 을 사용하여, 각 궤적은 동일한 거리의 m 개의 데이터를 가지도록 다시 샘플링한다. 인접한 점 사이의 거리가 1보다 크면, 새로운 점을 삽입한다. 1보다 작으면, 다음 점으로 이동하지만 기준점은 변경하지 않는다. 이 과정을 궤적의 모든 점에 대해 반복한다.

구간별 정확도를 위해 앞뒤의 데이터를 하나씩 제거하여 $m-2$ 개의 궤적 데이터를 구성한다. 또한, Address to Top, Top to Impact, Impact to Finish의 구간 별 유사도를 측정하기 위해 모든 궤적 데이터를 구간을 나누어 이와 같은 과정을 진행한다.

3.2 대조군의 호텔링 변환 행렬 생성

대조군 전체 행렬 $C \subset \mathbb{R}^{(m-2) \times n}$ 을 생성하기 위해 대조군의 궤적 열벡터($\{\vec{c}_2, \vec{c}_3, \dots, \vec{c}_{m-1}\} \in C$)들을 입력으로 받아 정의하며 그림 1과 같이 대조군 전체 행렬을 구성한다.

$c_1(2)$	$c_2(2)$	...	$c_{n-1}(2)$	$c_n(2)$
$c_1(3)$	$c_2(3)$	...	$c_{n-1}(3)$	$c_n(3)$
$c_1(4)$	$c_2(4)$	...	$c_{n-1}(4)$	$c_n(4)$
$c_1(5)$	$c_2(5)$	...	$c_{n-1}(5)$	$c_n(5)$
...
$c_1(m-2)$	$c_2(m-2)$	...	$c_{n-1}(m-2)$	$c_n(m-2)$
$c_1(m-1)$	$c_2(m-1)$	...	$c_{n-1}(m-1)$	$c_n(m-1)$

그림 1. 대조군 전체 행렬 C 의 구성
Fig. 1. Analysis results by section

사용자 간의 특징 정보가 있는 각 행 벡터의 평균을 0으로 만들기 위하여 각 열의 평균을 기존 행렬 C 에서 뺀다 (2). 이후에, 공분산 행렬을 만들기 위하여 (3)와 같이 행렬 곱을 한다. 만들어진 공분산 행렬에 대하여 고윳값을 구하고, 크기에 따른 고유 벡터들을 내림차순으로 행에 배치한다. 이때, $A \subset \mathbb{R}^{k \times (m-2)}$ 이고, $\{\vec{e}_1, \vec{e}_2, \dots, \vec{e}_{m-2}\} \in A$ 인 호텔링 변환행렬을 생성한다. A 는 고유벡터의 개수 k 에 대하여 k 의 최댓값은 $(m-2)$ 이다.

$$U = C - m_c \quad (2)$$

$$Cov = U \times U^T \quad (3)$$

3.3 원본군의 사상

생성한 대조군의 호텔링 변환 행렬 A 를 이용하여 원본군의 단일 골프 스윙 \vec{o} 를 사상한다. \vec{o} 는 길이가 $m-2$ 인 열벡터가 되고, 각 지점의 데이터에 대해서 대조군의 평균을 빼는 과정을 진행한다 (4). 이어서, A 를 이용하여 원본군의 궤적을 대조군의 궤적에 대하여 사상하여 좌표들을 변환한다 (5). A 의 각 고유벡터(행)는 직교하므로, $A^{-1} = A^T$ 의 성질을 지닌다. 따라서 (6)과 같은 과정으로 복구하여 최종 변환된 \hat{u} 를 생성한다. \hat{u} 는 원본군이 대조군을 따라 했을 때의 궤적을 뜻하며, 대조군들의 스

원 궤적과 차이가 적은 궤적일수록 \vec{o} 와 차이가 작은 결과를 보인다.

$$u = \vec{o} - m_c \tag{4}$$

$$y = A \times \vec{u} \tag{5}$$

$$\hat{u} = A^T \times y + m_c \tag{6}$$

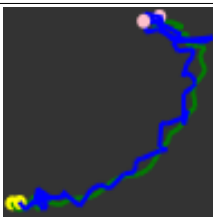
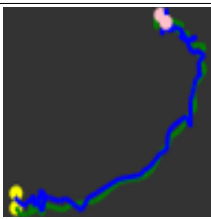
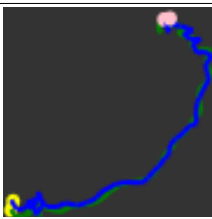
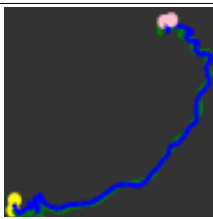
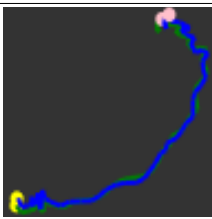
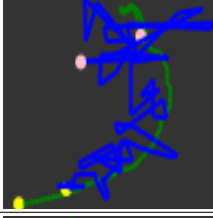
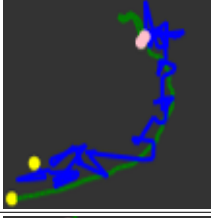
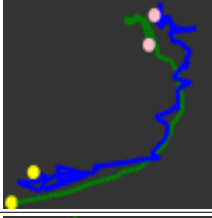
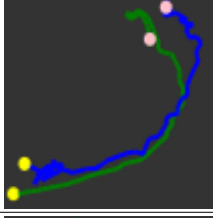
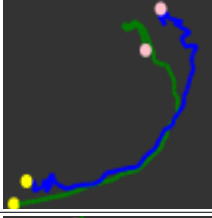
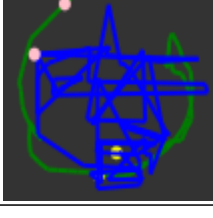
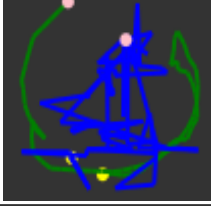
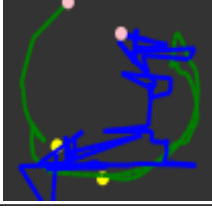
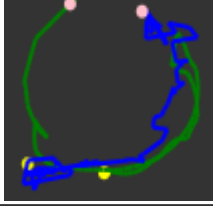
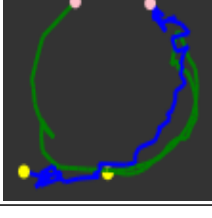
3.4 Score 측정

이를 이용하여 본 논문에서는 원본군 궤적 u 와 사상된 원본군 \hat{u} 사이의 유사도를 비교한다. u 와 \hat{u} 사이의 Score를 계산하기 위해, 둘의 궤적을 원점으로 이동한다. 이후에 궤적의 크기를 크기가 1인 정사각형 크기로 변환한다. u , \hat{u} 사이의 x , y 사이의 거리를 평균을 구하고 (7), 이를 (8)의 식을 이용하여 Score를 계산한다.

$$d = \frac{1}{m-2} \sum_{i=2}^{m-1} \sqrt{(u_{i,x} - \hat{u}_{i,x})^2 + (u_{i,y} - \hat{u}_{i,y})^2} \tag{7}$$

$$score = 1 - \sqrt{2}d \tag{8}$$

표 1. 고유벡터의 개수에 따른 결과 비교
Table 1. Comparison results by number of eigenvectors

	$k = 62$	$k = 30$	$k = 10$	$k = 5$	$k = 1$
Good original group					
Normal original group					
Bad original group					

IV. 실험 및 결과

본 실험에서는 $m = 64$ 인 유효한 대조군들의 궤적들에 대하여 k 와 n 을 변화해가며 방법의 타당성을 검증한다. 표 1 ~ 표 3에서 빨강은 대조군의 궤적, 초록은 원본군의 궤적이며 파랑은 사상된 원본군의 궤적을 나타낸다. 실험에는 [7]에서 직접 제작한 골프 스윙의 데이터를 사용하였다. 이는 골프 숙련자와 아마추어의 스윙을 키넥트 센서로 직접 수집한 데이터이다.

4.1 고유벡터의 개수(k)에 따른 실험

원본군을 Good, Normal, Bad 및 k 를 62, 30, 10, 5, 1로 변화하여 표 1과 같이 15장에 결과에 대하여 분석한다. 원본군의 상태와 관계없이 k 가 작아질수록 노이즈가 작아지고 궤적의 Smoothing 현상을 볼 수 있다.

Good 원본군의 경우 상대적으로 k 값의 영향을 적게 받음을 볼 수 있다. Normal 원본군은 대조군의 데이터와 조금 차이가 있는 원본군이며, k 가 작아질수록 대조군 형태에 사상되는 것을 보인다.

Bad 원본군은 대조군 데이터들과 관계없는 궤적이며, k 가 클 때는 많은 노이즈가 포함되고 k 가 작을수록 원본군 데이터에 영향을 상당히 적게 받는 결과를 보인다.

4.2 대조군의 개수(n)에 따른 실험

$m = 64$ 으로 고정한 대조군들의 스윙 궤적에 대하여 n 를 2, 4, 6, 8, 10로 변화하여 실험한다. 표 2는 대조군의 데이터가 Valid한 경우로만 구성된 경우의 결과이며, 표 3은 Invalid한 대조군의 데이터가 포함된 경우의 결과를 나타낸 것이다. Valid한 대조군의 호텔링 변환행렬을 사용하였을 경우 n 의 값이

Score에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석된다. 최대 최소의 차이가 약 3%의 차이를 보였으며 n 이 커지거나 작아질 때 유사도의 변화는 관계가 없다. 하지만, Invalid한 대조군이 포함된 경우 n 은 Score에 큰 영향을 미친다. n 이 커질수록 Score가 높아지며 최대 최소의 차이가 약 60%로 크게 나타났다. 따라서, $n \propto Score$ 의 관계가 있음을 알 수 있다.

표 3의 경우 n 의 개수가 많아지면, Invalid한 데이터에 비하여 Valid한 데이터가 상대적으로 많아진다. 이는 Invalid한 데이터의 분산을 상쇄하는 작용을 한다. 따라서, 대조군 데이터에 분산이 큰 궤적이 존재한다면, n 의 값이 클수록 신뢰도가 높다.

표 2. 대조군의 개수에 따른 결과 비교 (Valid 데이터로만 구성)

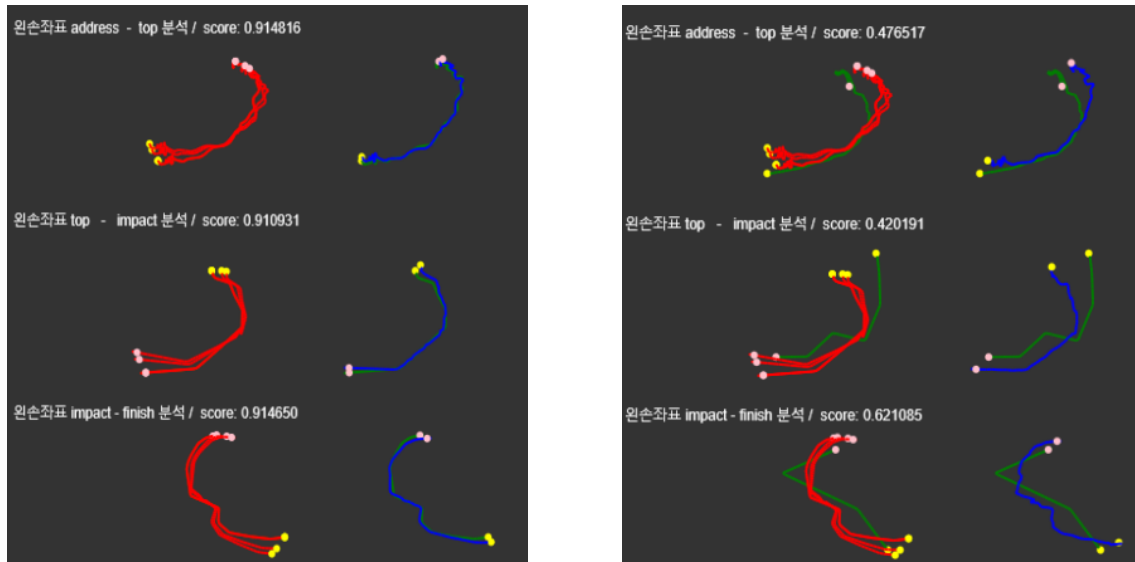
Table 2. Compare results by number of comparative group (consists of only valid data)

	$n = 2$	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$
C, \vec{o}					
u, \hat{u}					
Score	0.8967	0.9148	0.8964	0.9164	0.9302

표 3. 대조군의 개수에 따른 결과 비교 (Invalid 데이터 포함)

Table 3. Compare results by number of comparative group (including invalid data)

	$n = 2$	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$
C, \vec{o}					
u, \hat{u}					
Score	0.2425	0.6277	0.7306	0.7945	0.8324



(a) 차이가 작은 경우의 사상 궤적
(a) Mapped trajectories of small difference
(b) 차이가 큰 경우의 사상 궤적
(b) Mapped trajectories of big difference

그림 2. 구간 별 분석 결과
Fig. 2. Analysis results by section

4.3 결과

C 에 포함되는 열 벡터들과 \vec{o} 의 차이가 작을 경우에는, 그림 2(a)와 같이 사상된 원본군과 기존의 원본군의 궤적 차이가 근소하고 상대적으로 Score가 높은 것을 볼 수 있다. 이와 반대로, 상대적으로 궤적의 차이가 있는 \vec{o} 를 A 에 의해 사상된 경우 그림 2(b)와는 다른 궤적을 보인다. 이는 대조군과 동일한 신체를 기반으로 원본군의 스윙을 한 결과가 되며, 궤적의 차이가 크기 때문에 낮은 Score를 보인다.

V. 결 론

실내 활동 증가로 인한 실내 스포츠 산업이 발달하고 있고, 이에 맞는 골프 교정 시스템을 스스로 코칭할 수 있는 시스템이 필요로 되고 있다. 본 논문에서는 대조군과의 상이한 신체 때문에 비교가 어려운 점에 대하여 본인의 신체를 대조군으로 변환하는 것이 이전 연구들과의 큰 차이점이 있다. 따라서, 복수 개의 대조군 궤적을 이용해 생성한 호텔링 변환 행렬을 이용하여 원본군의 궤적을 사상하고, 이를 비교하는 방법을 제시하였다.

그 결과, 대조군의 궤적들과 비슷한 경우 변환된

원본군의 궤적은 원본군의 궤적과 차이가 작았다. 또한, 상이한 궤적인 경우 편차가 있지만, 대조군의 형태를 지닌 궤적이 생성되었다. 하지만, 대조군의 궤적들이 일관성을 지니지 못하거나, 편차가 큰 경우 사상된 원본군 궤적에 대해서 올바르게 못한 결과를 보였다. 따라서, 본 논문의 방법은 올바른 데이터의 수집이 가장 중요하다고 볼 수 있다.

Acknowledgement

"2021년도 한국정보기술학회 하계종합학술대회에서 발표한 논문(주성분 분석을 이용한 골프 스윙 비교: 예비 연구)을 확장한 것임"

References

- [1] <https://hotelrestaurant.co.kr/mobile/article.html?no=8391>. [accessed: Dec. 16, 2021]
- [2] <http://www.golfin.co.kr/news/articleView.html?idxno=2426>. [accessed: Dec. 16, 2021]
- [3] https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/12/14/2020121402233.html. [accessed: Dec. 16, 2021]
- [4] http://ncov.mohw.go.kr/bdBoardList_Real.do?brdId=1

- &brdGubun=11&ncvContSeq=&contSeq=&board_id=&gubun=. [accessed: Dec. 16, 2021]
- [5] Y. Kim, H. Kim, Y. Yeom, Y. Choi, and S. Lee, "Implementation of a Personal Exercise System for Growing Children using Kinect", *Journal of IIBC*, Vol. 19, No. 6, pp. 127-132, Dec. 2019. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.6.127>.
- [6] H. Kim, S. Jang, H. Yoo, J. Lee, Y. Jeon, D. Kim, and S. Kim, "Analysis of Golf Swing by Using Kinect", *Proc. of KIIT Conference*, pp. 511-512, Jun. 2018.
- [7] H. Son, H. Kim, and S. Kim, "Development of Technique on Correcting Golf Posture Based on Posture Comparison", *Proc. of KIIT Conference*, pp. 404-407, Jun. 2019.
- [8] H. Kim and S. Kim, "Implementation of Golf Swing Analysis System Based on Swing Trajectories Analysis", *Journal of Advanced Information Technology and Convergence*, Vol. 9, No. 2, pp. 65-74, Dec. 2019. <http://doi.org/10.14801/jaitc.2019.9.2.65>.
- [9] J. Si and S. Kim, "Golf Swing Trajectories Comparison Based on Principal Component Analysis : A Preliminary Study", *Proc. of KIIT Conference*, pp. 19-21, Jun. 2021.
- [10] B. Kim, "Automatic Extraction of Golf Swing Features Using a Single Kinect", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 19, No. 12, pp. 197-207, Dec. 2014. <http://doi.org/10.9708/jksci.2014.19.12.197>.
- [11] H. Ku, W. Wang, and Y. Ti, "Simulating Feasibility Assessment of the Golf Swing by Kinect Motion-Sensing Photography", *Sensors and Materials*, Vol. 28, No. 6, pp. 725-737, 2016. <http://dx.doi.org/10.18494/SAM.2016.1230>.
- [12] W. Park and Y. Kwak, "Golf Swing Classification Using Fuzzy System", *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 380-392, May. 2013. <http://doi.org/10.5909/JBE.2013.18.3.380>.
- [13] L. Zhang, J. Hsieh, and J. Wang, "A Kinect-Based Golf Swing Classification System Using HMM and Neuro-Fuzzy", *International Conference on Computer Science and Information Processing*, pp. 1163-1166, Aug. 2012. <http://doi.org/10.1109/CSIP.2012.6309065>.
- [14] L. Zhang, J. Hsieh, T. Ting, Y. Huang, Y. Ho, and L. Ku, "A Kinect based Golf Swing Score and Grade System using GMM and SVM", *International Congress on Image and Signal Processing*, pp. 711-715, Oct. 2012. <http://doi.org/10.1109/CISP.2012.6469827>.
- [15] K. Lee and S. Pan, "Golf Swing Motion Data Acquisition Based on Human Body Model for Golf Self-Coaching System", *Journal of KIIT*, Vol. 13, No. 8, pp. 117-123, Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2015.13.8.117>.
- [16] G. Kwak, H. So, S. Kim, N. Kim, and D. Kim, "Analysis of Golf Swing Motion and Applied Loads on the Human Body Using Soft-Golf Club", *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 31, No. 5, pp. 472-478, Oct. 2011.
- [17] J. Lee, J. Lim, and G. Lee, "Coaching factor extraction algorithm for golf swing by stereo camera system", *Proc. of Society for Computational Design and Engineering*, pp. 1023-1024, Feb. 2012.
- [18] S. Hwang, K. Ko, and S. Pan, "Golf Swing Analysis System Using Camera and Inertial Sensor", *Journal of KIIT*, pp. 139-147, Vol. 15, No. 4, Apr. 2017. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2017.15.4.139>.
- [19] Z. Zhang, Y. Zhang, A. Kos, and A. Umek, "A Sensor-based Golfer-Swing Signature Recognition Method Using Linear Support Vector Machine", *Elektrotehniski vestnik*, Vol. 84, No. 5, pp. 247-252, Oct. 2017.
- [20] Y. Kim, K. Kim, S. Kim, S. Lee, and H. Lee, "Golf Swing Analysis System with a Dual Band and Motion Analysis Algorithm", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, pp. 309-

- 317, Vol. 63, No. 3, Aug. 2017. <http://doi.org/10.1109/TCE.2017.014937>.
- [21] J. Kim, J. Lee, T. Kim, and J. Kim, "Design of Head Detection using Faster R-CNN for Golf Swing Posture Correction", Proc. of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 509-510, Nov. 2020.
- [22] K. Ko and S. Pan, "Swing Sequence Images based 3D Golf Swing Analysis Using Deep Learning", Journal of Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 56, No. 10, pp. 49-55, Oct. 2019. <http://doi.org/10.5573/ieie.2019.56.10.49>.
- [23] A. Cho, T. King, S. Lee, and Y. Kim, "Machine Learning-based Estimation of X-factor on Golf Swing", Proc. of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp. 1247-1248, Jan. 2019.
- [24] J. Lee, S. Park, and C. Kim, "Golf Swing Analysis using COP Trajectory Image Learning", Proc. of Korean Society for Precision Engineering, pp. 494-495, Oct. 2018.
- [25] J. Ju, "Implementation of Golf Swing Accuracy Analysis System using Smart Sensor", Journal of Advanced Navigation Technology, Vol. 21, No. 2, pp. 200-205, Apr. 2017. <http://doi.org/10.12673/jant.2017.21.2.200>.
- [26] S. Stančin and S. Tomažič, "Early Improper Motion Detection in Golf Swings Using Wearable Motion Sensors: The First Approach", Sensors, pp. 7505-7521, Vol. 13, No. 6, Jun. 2013. <http://doi.org/10.3390/s130607505>.
- [27] L. Jiao, H. Wu, R. Bie, A. Umek, and A. Kos, "Multi-sensor Golf Swing Classification Using Deep CNN", Procedia Computer Science, Vol. 129, pp. 59-65, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.046>.
- [28] L. Jiao, R. Bie, H. Wu, Y. Wei, J. Ma, A. Umek, and A. Kos, "Golf Swing Classification with Multiple Deep Convolutional Neural Networks", Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 14, No. 10, pp. 1-17, Oct. 2018. <http://doi.org/10.1177/1550147718802186>.
- [29] K. Ko and S. Pan, "Automatic Classification of Golf Swing Section based on Single Camera Using Transfer Learning", Proc. of KIIT Conference, pp. 37-39, Jun. 2018.
- [30] J. Wobbrock, A. Wilson, and Y. Li, "Gestures without Libraries, Toolkits or Training: a \$1 Recognizer for User Interface Prototypes", Proc. of ACM symposium, Newport Rhode Island USA, pp. 159-168, Oct. 2007. <http://doi.org/10.1145/1294211.1294238>.
- [31] J. Park, T. Kim, B. Park, and H. Cho, "Fast Heuristic Algorithm for Similarity of Trajectories Using Discrete Fréchet Distance Measure", KIISE Transactions on Computing Practices, Vol. 22, No. 4, pp. 189-194, Apr. 2016. <http://doi.org/10.5626/KTCP.2016.22.4.189>.
- [32] J. Hong, K. Park, Y. Han, and Y. Lee, "A Method for Measuring Similarity between Trajectory Graph Sets", Journal of KISS: Databases, Vol. 40, No. 2, pp. 153-158, Jun. 2013.
- [33] S. Gil and K. Lee, "A Behavior-based Authentication Using the Measuring Cosine Similarity", Journal of IIBC, Vol. 20, No. 4, pp. 17-22, Aug. 2020. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.4.17>.

저자소개

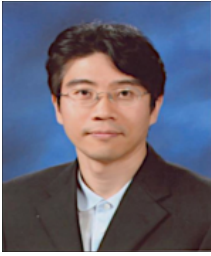
시종욱 (Jongwook Si)



2020년 8월 : 금오공과대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2022년 2월 : 금오공과대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2022년 3월 ~ 현재 : 금오공과
대학교 컴퓨터공학과
대학원(박사과정)

관심분야 : 스타일전이, 이미지생성, 영상분석, 기계학습

김 성 영 (Sungyoung Kim)



1994년 2월 : 부산대학교
컴퓨터공학과(공학사)
1996년 2월 : 부산대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2003년 8월 : 부산대학교
컴퓨터공학과(공학박사)
2004년 ~ 현재 : 금오공과대학교

컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 기계학습, 딥러닝