정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제3호, 2013년 5월 (JBE Vol. 18, No. 3, May 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.3.380>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

퍼지 시스템을 이용한 골프 스윙 분류

박 준 옥^{a)}, 곽 수 영^{a)†}

Golf Swing Classification Using Fuzzy System

Junwook Park^{a)} and Sooyeong Kwak^{a)†}

요 약

본 논문에서는 키넥트와 퍼지 시스템을 이용하여 골프 스윙 동작을 7가지 구간으로 분류하는 방법을 제안한다. 퍼지 논리의 입력으로 골프 클럽과 클럽의 헤드 위치를 사용하였으며 이 정보는 키넥트로부터 획득한 골퍼의 관절 정보와 컬러 영상 정보로부터 검출하였다. 제안하는 방법은 크게 신체 관절 추출 모듈, 골프 클럽 검출 및 헤드 추적 모듈, 골프 스윙 동작 분류 모듈로 구성되어 있다. 신체 관절 추출 모듈은 키넥트 센서로부터 검출되는 신체 관절 정보 중 골프 클럽의 검출을 위해 손의 좌표를 추출한다. 두 번째 모듈에서는 손의 좌표를 기준으로 허프 직선 변환 알고리즘을 사용하여 골프 클럽과 골프 클럽의 헤드를 검출한다. 마지막으로 인식 오류를 줄이고 동작별 인식 성능을 향상시키기 위해 퍼지 시스템을 적용하여 골프 스윙 동작을 분류하였다. 실시간 골프 스윙 영상에 대해 제안한 방법의 성능 평가를 시행하였고 제안한 방법은 평균 85.2%의 골프 스윙 동작 분류 신뢰도를 보여줌을 확인하였다.

Abstract

A method to classify a golf swing motion into 7 sections using a Kinect sensor and a fuzzy system is proposed. The inputs to the fuzzy logic are the positions of golf club and its head, which are extracted from the information of golfer's joint position and color information obtained by a Kinect sensor. The proposed method consists of three modules: one for extracting the joint's information, another for detecting and tracking of a golf club, and the other for classifying golf swing motions. The first module extracts the hand's position among the joint information provided by a Kinect sensor. The second module detects the golf club as well as its head with the Hough line transform based on the hand's coordinate. Using a fuzzy logic as a classification engine reduces recognition errors and, consequently, improves the performance of robust classification. From the experiments of real-time video clips, the proposed method shows the reliability of classification by 85.2%.

Keyword : kinect sensor, golf club detection, golf swing classification, fuzzy logic

a) 한밭대학교 전자-제어공학과 (Dept. Electronics and Control Engineering, Hanbat University)

† Corresponding Author : 곽수영(Sooyeong Kwak)
E-mail: sykwa@hanbat.ac.kr
Tel: +82-42-821-1167

※ 이 논문은 한밭대학교 교내학술연구비 및 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2011-0007406)

Manuscript received March 7, 2013 Revised May 22, 2013 Accepted May 22, 2013

1. 서 론

현대의 스포츠는 과학이 접목된 스포츠 과학으로 발전하고 있으며 기록 향상을 위한 각종 분석 시뮬레이션 시스템들도 많이 개발되고 있고 실제 경기 기록 향상에 상당한 도움을 주고 있다. 이러한 과학적인 방법들이 도입되지 않으면 올림픽과 같은 스포츠 메가 이벤트에서 좋은 성적을 얻고 메달을

획득하기란 상상하기 어려운 것이 현실이다. 이에 따라 빠르게 움직이는 스포츠 동작을 인간의 눈으로 평가하고 분석하는 것은 사람의 주관에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 카메라를 이용한 스포츠 영상 분석 기술이 실로 확장되고 있다. 이렇게 스포츠 과학이 중요한 현실에서 국내의 경우 선수들의 훈련장 및 경기장에서 고속카메라를 이용하여 선수들의 움직임을 촬영을 하고, 이러한 동영상을 전문가의 다양한 수작업을 통해 오프라인으로 선수들의 자세를 분석하고 있는 실정이다. 현장에서 선수들에게 빠른 피드백을 주기 위해서는 실시간으로 경기내용 또는 자세를 분석하는 스포츠 동작 분석 기술 개발을 요구하고 있지만 국내의 경우 카메라를 이용한 동작 인식 기술을 개발하는 비전 업체들이 외국 업체들에게 의존도가 높아 기술력이 상당히 뒤쳐진 상태이다^[1].

실제 예로 독일의 SPORTSCAD사^[2]는 사전에 수집된 선수들의 동작 분석 데이터베이스를 구축하여 사용자에게서 추출된 모션의 역학을 분석하는 소프트웨어를 설계하여 사용하고 있으며, 영국의 The Quintic System사^[3]

는 카시오 초고속카메라를 이용하여 스포츠 동작과 생물학적, 역학적 정보를 분석하는 소프트웨어를 개발하였다.

국내의 대표적인 스포츠 분석 소프트웨어로 그림 1과 같이 ㈜다트피쉬코리아와^[4] ㈜골프존의^[5] 기술을 뽑을 수 있다. ㈜다트피쉬코리아는 전 세계 주요 스포츠 이벤트에서 특수 영상 중계방송 서비스를 실시중이며 2004년 아테네올림픽과 2008년 베이징올림픽에서 디지털영상 분석 기술로 다양한 스포츠 동작 분석에 대한 새로운 방법론을 보여주었다. 또한, ㈜골프존은 사용자의 골프 스윙 모션을 녹화하여 녹화된 비디오를 재생하면서 전문가의 코칭 하에 자세를 교정 받는 형식으로 진행되고 있다.

스포츠 동작은 자세 교정과 학습뿐만 아니라 야구의 투구동작과 골프의 스윙동작에 대한 특이동작 및 기술에 특허권이 부여된다는 기사가 보도될 정도로 중요한 분야로 떠오르고 있다. 또한, 스포츠 동작 분석을 위한 카메라와 자세 교습용 영상 시스템 등에 대한 특허 출원도 나날이 늘어가는 추세로 스포츠 동작 분석에 대한 연구가 활발해

그림 1. 국내 스포츠 동작 분석 기술의 적용 사례: (a) ㈜다트피쉬 코리아, (b) ㈜골프존

Fig. 1. Application examples of sports motion analysis technology in Korea (a) Dartfish Korea, (b) Golfzon

그림 2. 제안하는 시스템의 흐름 구성도

Fig. 2. Flow chart of the proposed system

졌다. 이러한 스포츠 중 운동의 자세를 가장 중요시 하면서 많은 사람들이 자세교정을 받기를 원하는 운동이 골프이다. 골프의 스윙 동작 자세 교정은 스윙을 위한 첫 번째 단계로 가장 중요한 부분을 차지하고 있으며, 대표적으로 어드레스, 테이크 백, 탑 오브 스윙, 다운스윙, 임팩트, 팔로우 스로, 피니쉬의 총 7가지 동작으로 분류된다^[6].

본 논문에서는 다양한 스포츠 중에서 대중적인 스포츠로 자리 잡은 골프의 스윙 모션을 키넥트 카메라와 센서를 이용하여 위의 골프에 대한 7가지 스윙 동작에 따른 골프 클럽 헤드의 위치와 속도, 이동방향에 따라 퍼지제어 방식을 이용하여 스윙 동작을 분류하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법의 흐름도는 그림 2과 같다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 키넥트의 센

서와 컬러 영상을 이용한 골프 클럽의 검출, 골프클럽 헤드 검출 및 추적, 골프 스윙 동작 분류에 대하여 소개하고 III장에서는 퍼지 로직을 이용한 골프 스윙 동작 분류, IV장에서는 실험의 결과에 대해 기술하고, V장에서는 실험을 통해 제안하는 방법의 성능을 평가한다. 마지막으로 VI장에서 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

II. 키넥트를 이용한 골프 스윙 동작 검출

1. 키넥트(Kinect)구성 및 관절 추적 시스템

키넥트는 Microsoft에서 출시한 XBOX용 센서로써 그림

그림 3. 키넥트의 구성 및 관절 추적 시스템: (a) 키넥트 구성, (b) 키넥트 관절 추적 정보

Fig. 3. (a) The kinect system (b) Skelton tracking position

3-(a)에서 보듯이 QVGA(320x240)와 VGA(640x480) 해상도에서 30FPS의 프레임률을 갖는 RGB카메라와 동작의 깊이를 인식할 수 있는 IR프로젝터와 카메라가 있다. 키넥트 센서가 사람을 인지하는 원리를 살펴보면 IR프로젝터에서 적외선을 쏘면 사람의 몸에 닿은 적외선은 거울의 원리와 같이 다시 반사되어 키넥트로 전달된다. 센서가 반사된 적외선에 따라 픽셀 당 거리를 계산하여 이미지 처리 소프트웨어가 실시간으로 사람의 위치와 거리를 인식하도록 되어 있다^[7].

또한, 키넥트에서는 사람의 주요 관절 20개를 인식할 수 있는 관절 추적 시스템을 제공한다. 키넥트에서는 20개의 관절이면 사람의 모션을 충분히 표현할 수 있다고 판단하여 그림 3-(b)에서 나타낸 것과 같이 사람의 관절을 20개로 나누어 각 부위별 명칭을 부여하였다.

본 논문에서는 키넥트에서 제공하는 관절 추출 정보를 이용하여 그림 4와 같이 신체의 관절을 추출하고 골프 클럽 검출을 위해 양손의 좌표를 이용하였다.

2. 골프 클럽의 검출

본 논문에서는 실시간으로 움직이는 골프 클럽의 추출을 위해 차영상 기법을 이용하였다. 차영상 기법은 현재 프레임과 이전 프레임의 차이를 이용하여 실시간으로 움직이는 동작의 검출에 많이 사용 되는 알고리즘이다^[8].

본 논문에서는 움직이는 골프 클럽을 검출하고 골프 스윙 동작 중에 발생하는 모션 블러 현상을 감소시키기 위해 세 프레임에 대한 연산을 수행한다. 현재의 프레임과 그 전의 두 프레임을 I_t , I_{t-1} , I_{t-2} 라고 정의할 때, 두 프레임의 차이 $Diff(I_{t1}, I_{t2})$ 는 <수식 1>과 같다.

$$Diff(I_{t1}, I_{t2}) = |I_{t1} - I_{t2}| \quad (1)$$

위의 식을 이용하여 $Diff(I_t, I_{t-1})$ 과 $Diff(I_{t-1}, I_{t-2})$ 를 구하고 두 영상에서 발생하는 잡음에 의한 원치 않은 분할을 최소한으로 줄이고자 닫힘 연산을 수행한다.^[8] 닫힘 연산을 수행한 결과 $M_c[Diff(I_{t1}, I_{t2})]$ 는 <수식 2>와 같다. 아래의 식에서 E 는 3*3 사각형 커널, $\oplus$ 는 침식연산, $\ominus$ 는 팽창연산을 뜻한다.

$$M_c[Diff(I_{t1}, I_{t2})] = [Diff(I_{t1}, I_{t2}) \oplus E] \ominus E \quad (2)$$

위의 식을 이용하여 $M_c[Diff(I_t, I_{t-1})]$ 과 $M_c[Diff(I_{t-1}, I_{t-2})]$ 를 구하고 두 영상의 공통부분을 추출하여 모션 블러를 최소화하기 위한 교집합(intersection) 연산을 수행한다. 교집합 연산을 수행한 결과는 <수식 3>과 같다.

$$M_c[Diff(I_t, I_{t-1})] \cap M_c[Diff(I_{t-1}, I_{t-2})] \quad (3)$$

그림 4. 관절 추출 결과

Fig. 4. The result of joint extraction

위의 식들을 이용하여 구한 영상과 캐니 에지(Canny Edge)를 사용하여 에지부분을 추출한 결과 영상은 그림 5와 같다.

골프 클럽은 영상에서 직선으로 표현되는 스윙 도구이다. 이러한 스윙 도구의 검출을 위해서 직선 검출에서 가장 뛰어난 성능을 볼 수 있는 허프 직선 변환 알고리즘을 사용

그림 5. 차영상 및 캐니 에지 수행 결과: (a) 차연산 수행 결과, (b) 모폴로지 연산 수행 결과, (c) 교집합 연산 수행 결과, (d) 캐니 에지 검출 결과
Fig. 5. The result of image subtraction and canny edge detection (a) The result of image subtraction (b) The result of Morphology closing (c) The result of image intersection (d) The result of Canny Edge detection

그림 6. 골프 클럽 검출 결과 영상 (빨간색 선이 클럽 검출 결과)
Fig. 6. The result of golf club detection (The detected golf club is shown in red line)

하였다^[9]. 허프 직선 변환 알고리즘은 입력 영상에서 0이 아닌 픽셀들을 (a, b) 좌표 평면 영상에서 모두 직선으로 표현하고, 직선들이 지나가는 위치에 있는 픽셀 값을 모두 축척하면, (x, y) 좌표 평면에서의 직선은 (a, b) 좌표 평면에서는 국지적 최댓값을 갖는 형태로 나타난다. 내부 파라미터로는 근접한 이웃 픽셀까지의 직선 가정 파라미터와 직선 길이의 임계값을 적용하여 직선의 길이를 제한할 수 있는 파라미터, 그리고 허프 직선 변환의 종류를 구분하는 파라미터 등으로 구성되어 있다. 허프 직선 변환 과정을 거쳐 골프 클럽을 검출한 결과는 그림 6과 같이 빨간색으로

표현하였다.

3. 골프 클럽 헤드 추적

골프 클럽 헤드를 추적하기 위해서는 허프 직선 변환으로 검출된 직선에서 양 끝 점에 대한 정보를 이용한다^[11]. 허프 직선 변환으로 검출된 하나의 직선은 x 축에 가까운 점을 p_0 , x 축에 먼 점을 p_1 으로 반환하게 되는데, 본 논문에서 제한하는 방법은 두 점을 키넥트 센서로 부터 얻은 양손의 좌표와 비교하여 더 멀리 있는 점을 골프 클럽 헤드

그림 7. 골프 클럽 헤드 추적 결과(노란색 원이 골프 클럽 헤드 추적 결과)
Fig. 7. The result of golf club head tracking (The tracked golf club head is shown in yellow circle)

로 정의한다. 골프 클럽 헤드를 추적한 결과는 그림 7과 같이 노란색으로 표현하였다.

III. 퍼지 시스템을 이용한 골프 스윙 동작 분류

1. 골프 스윙 동작 분류

골프 스윙 동작의 목표는 골프 클럽을 사용하여 정지 상태에 있는 골프공을 자신이 원하는 지점으로 보내는 것이다. 골프 스윙에는 풀스윙 외에 칩핑샷, 벙커샷 등의 종류가 있으며, 골프 스윙은 기본적으로 풀스윙을 의미한다. 풀스윙은 골프 클럽을 사용하여 골프공을 보낼 수 있는 최대 거리를 원할 때에 하는 스윙 동작을 뜻한다. 골프에서 풀스윙으로 최고의 능력을 발휘하기 위해서는 그림을 잡는 방법과 스윙 동작 구간에서의 바른 자세를 요구한다. 표 1에서는 골프의 동작을 크게 7가지로 나누고 각 구간에 대한 정의를 내린다^[1].

2. 퍼지 시스템

퍼지 시스템은 지식 기반 또는 룰 기반의 시스템이고 그 핵심은 퍼지 IF-THEN 규칙이라고 불리는 룰베이스이다^[11]. 룰베이스는 인간이 사용하는 언어와 유사하게 언어 변수(linguistic variable)를 이용하여 표현이 되고 언어 변수는 각각의 멤버십 함수(membership function)를 갖는 퍼지 집합으로 나타낸다. 퍼지 시스템은 명확하게 구분 짓기 힘든

물리량에 대해 퍼지 집합을 이용함으로써 애매모호함을 다룰 수 있게 해준다. 본 논문에서 다루고자 하는 골프 스윙 동작은 움직임의 많고 적음이 일정하지 않고 동작을 분류할 수 있는 경계가 애매하므로 퍼지 시스템을 적용하여 분류 과정에 나타날 수 있는 오류와 불확실성을 감소시킬 수 있다.

3. 퍼지 시스템의 입출력 멤버십 함수

본 논문에서 적용한 퍼지 시스템은 골프 클럽의 헤드 위치(Position), 골프 클럽 헤드의 속도(Velocity), 골프 클럽 헤드의 이동 방향(Direction)과 같은 세 개의 언어 변수를 이용하여 룰베이스를 만들었고 각 언어 변수들에 대한 퍼지 집합을 특징짓는 멤버십 함수를 선정하였다.

퍼지 시스템 입력의 첫 번째 변수인 골프 클럽 헤드의 위치에 대한 퍼지 집합은 신체의 중심점을 기준으로 그림 8과 같이 360° 방향을 8개 방향으로 구간을 나누고 6시 방향을 기준으로 시계 방향으로 8개의 퍼지 집합을 정의하였다^[12]. 8개 방향의 중심점은 키넥트 센서로부터 획득한 신체 관절의 척추 좌표를 사용하고, 사용자의 이동에 따라 양쪽 어깨의 좌표에서 x 축 방향으로 ± 80 픽셀에 해당하는 좌표와 신체의 중심점으로 이루어진 삼각형 구간을 “Position 1”로 정의하였다. 또한, “Position 3”은 신체 관절의 척추 좌표로부터 y 방향으로 ± 80 픽셀에 해당하는 좌표로 이루어진 삼각형 구간으로 정의하였고 이와 같은 방법으로 나머지 구간을 계산함으로써 사용자의 이동에도 적응적인 위치 구간을 분류한다. 각 퍼지 집합에 대한 멤버십 함수는 그림 9의 (a)와 같이 선정하였다.

표 1. 골프 스윙 분류

Table 1. The Classification of golf swing motions

	분류	정의
1	어드레스 (address)	골프의 스윙동작을 위한 정지 상태
2	테이크 백 (take back)	스윙의 시작단계이며 골프 헤드는 허리정도에 위치
3	탑 오브 스윙 (top of swing)	클럽 헤드가 제일 위에 있는 상태
4	다운 스윙 (down swing)	골프 클럽이 공을 타격하기 직전까지의 구간
5	임팩트 (Impact)	골프 클럽이 공을 타격하는 순간
6	팔로우 스루 (follow through)	골프 클럽이 몸의 뒤쪽으로 움직이는 구간
7	피니쉬 (finish)	스윙을 마친 후의 상태

그림 8. 골프 클럽 헤드 위치 구간 분류
Fig. 8. Classification of section of the golf club head position

두 번째 변수인 골프 클럽 헤드의 속도는 빠름, 적당히 빠름, 적당함, 느림과 같이 네 개의 퍼지 집합을 정의하고 그림 9의 (b)와 같이 멤버십 함수를 선정하였다. 이 때, 시각 t 일 때의 클럽 헤드 속도의 크리스프(crisp) 값은 $t-1$ 프레임과 t 프레임 간의 클럽 헤드 위치 변화를 다음 식을 이용하여 계산하여 사용하였다.

$$v_h = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{\sqrt{(p_{(t,x)} - p_{(t-1,x)})^2 + (p_{(t,y)} - p_{(t-1,y)})^2}}{33ms} \quad (4)$$

<수식 4>에서 v_h 는 클럽 헤드의 속도, p_t 와 p_{t-1} 은 t 프레임과 $t-1$ 프레임에서 골프 클럽 헤드의 좌표를 뜻한다.

세 번째 변수인 골프 클럽 헤드의 이동 방향은 역시 $t-1$ 프레임과 t 프레임 간의 헤드 위치 변화를 감지하여 시계 방향, 반시계 방향, 움직임 없음과 같이 세 개의 퍼지 집합을 정의하고 각각의 멤버십 함수는 그림 9의 (c)와 같이 선정하였다.

마지막으로 퍼지 시스템의 출력은 동작(Pose)이라는 하나의 언어 변수이고 표 1의 7가지 동작에 대한 퍼지 집합을

(a)

(b)

(c)

(d)

그림 9. 멤버십 함수: (a) 골프 클럽 헤드의 위치, (b) 골프 클럽 헤드의 속도, (c) 골프 클럽 헤드의 이동 방향, (d) 골프 스윙 동작 분류

Fig. 9. Membership function (a) The position of golf club head, (b) Velocity of golf club head, (c) The direction of movement of the golf club head, (d) Golf swing motion classification

표 2. 대표적인 룰베이스

Table 2. The typical rulebase

Rule 1: IF Position is " 1 " and Velocity is " slow " and Direction is " Stop " THEN Pose is " Address "
Rule 2: IF Position is " 2 " and Velocity is " fast " and Direction is " Forward " THEN Pose is " Take back "
Rule 3: IF Position is " 5 " and Velocity is " slow " and Direction is " Stop " THEN Pose is " Top of swing "
Rule 4: IF Position is " 2 " and Velocity is " fastest " and Direction is " Reverse " THEN Pose is " Down swing "
Rule 5: IF Position is " 1 " and Velocity is " fastest " and Direction is " Reverse " THEN Pose is " Impact "
Rule 6: IF Position is " 6 " and Velocity is " fastest " and Direction is " Reverse " THEN Pose is " Follow through "
Rule 7: IF Position is " 4 " and Velocity is " slow " and Direction is " Stop " THEN Pose is " Finish "

정의하고 각각의 멤버십 함수는 그림 9의 (d)와 같이 선정하였다.

0.501으로 계산됨을 보여주고 있다.

4. 퍼지 시스템의 룰베이스

세 개의 입력 변수와 한 개의 출력 변수로 이루어진 퍼지 시스템의 룰베이스는 모두 $8 \times 4 \times 3 = 96$ 개의 IF-THEN 규칙을 정의할 수 있다. 본 논문에서는 이 중 'IF Position is " " and Velocity is " " and Direction is " " THEN Pose is " "'와 같이 골프 스윙 동작에서는 물리적으로 발생할 수 없는 경우를 제외하여 총 74가지에 대한 룰베이스를 정의하였다. 대표적인 룰베이스는 다음과 같다.

그림 10은 이와 같이 정의된 룰베이스에 입력의 한 예로 Position과 Velocity, Direction의 크리스프 값들이 각각 0.723, 39.2, 5일 때 퍼지시스템 출력의 크리스프 값이

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법론을 테스트하기 위해, 키넥트 센서를 이용하여 직접 촬영한 데이터를 사용하였다. 영상의 크기는 640×480 이고 초당 30프레임을 획득하였다. 골프 스윙 데이터 촬영을 위해 키넥트 센서의 위치는 약 70cm 높이의 책상에 배치하였고, 키넥트의 센서 측정 거리 범위를 고려하여 약 2m 떨어진 거리에서 골프스윙을 하는 자세를 정면에서 촬영하였다. 실험은 매트랩의 퍼지 툴 박스(Fuzzy toolbox)를 사용하였고, 구현은 Microsoft Visual Studio 2010 환경에서 키넥트 SDK 1.0 버전을 사용하였다.

스윙 동작 분류를 위한 인터페이스는 실시간으로 처리된

그림 10. 룰베이스

Fig. 10. Rule Base

그림 11. 골프 스윙 동작 분류 결과: (a) 어드레스, (b) 테이크 백, (c) 탑 오브 스윙, (d) 다운 스윙, (e) 팔로우 스루, (f) 임팩트 (g) 피니쉬
Fig. 11. The result of golf swing classification (a) Address (b) Take back (c) Top of swing (d) Down swing (e) Follow Through (f) Impact (g) Finish

데이터를 수집하여 현재 동작 구간을 사용자에게 알려주는 방식으로 영상의 상단 부분을 이용하여 시각적으로 표현하였다. 스윙 동작 인터페이스는 기본적으로 노란색 사각형의 모습으로 생성되었고, 현재의 골프 스윙 동작에 해당되는 동작에 대해서 빨간색 사각형으로 채워지는 형식으로 구성되어 있다.

표 1에서 정의한 골프 스윙 동작 분류에 대한 결과는 그림 11과 같다. 실험 결과는 컬러 영상에서 검출된 골프 클럽과 골프 클럽 헤드를 추적하고 현재의 스윙 동작을 표시한다.

V. 성능 평가 및 분석

제안하는 방법의 골프 스윙 동작 분류 성능을 평가하기 위해 3가지 타입의 오류와 신뢰도를 이용하였다^[13]. 3가지 타입의 오류는 삭제 오류, 대체 오류, 삽입 오류이다. 삭제 오류는 입력 영상에서 존재하는 골프 스윙 동작을 분류하지 못했을 때 발생하는 오류이다. 대체 오류는 동작 분류가 잘못된 동작으로 분류될 때 발생하는 오류이다. 삽입 오류는 존재하지 않는 동작을 존재한다고 검출할 때 발생하는 오류이다. 위의 3가지 타입의 오류를 이용하여 1명의 실험자가 골프 스윙을 5번 반복 실행하여 <수식 5>와 같이 분류 성능을 평가하고, 표 3과 같은 결과를 얻었다. 표 3의 N 은 입력된 영상의 프레임 수, N_C 는 올바르게 분류된 개수, N_{DE} 는 삭제 오류의 개수, N_{SE} 는 대체 오류의 개수, N_{IE} 는 삽입 오류의 개수, $R(\%)$ 은 분류 신뢰도를 의미한다.

$$R = \frac{N_C}{N} \times 100\% \quad (5)$$

골프 스윙의 7가지 구간은 정의하는 사람에 따라 임의의 구간을 중심으로 분류하게 된다. 본 논문에서는 여러 자료로부터 획득한 공통적인 부분을 토대로 다음과 같이 7가지 구간에 대한 Ground Truth를 정의한다. 첫 번째, 어드레스는 양 어깨 사이에 골프 클럽이 위치할 때, 두 번째, 테이크백은 어드레스 구간을 지나 골프 클럽 헤드가 11시 방향에

위치할 때, 세 번째, 탑 오브 스윙은 테이크 백으로부터 골프 클럽이 1시 방향에 위치할 때, 네 번째, 다운스윙은 탑 오브 스윙으로부터 골프 클럽 헤드가 6시 방향에 위치할 때, 다섯 번째, 임팩트는 골프 클럽 헤드가 6시 방향에 위치하고 골프공을 타격할 때, 여섯 번째, 팔로우 스루는 임팩트 구간을 지나 골프 클럽이 1시 방향에 위치할 때, 마지막으로 피니쉬는 팔로우 스루를 지나 골프 클럽 헤드의 위치 변화가 없을 때이다^{[14][15]}. 위의 Ground Truth를 바탕으로 퍼지 로직을 이용하여 실험한 결과를 위의 수식으로 계산하여 모든 골프 스윙 동작에 대해 75%~93% 사이의 신뢰도를 보였다. 신뢰도는 골프 스윙의 시작 단계인 Address구간에서 가장 높게 나타났으며, 골프 스윙이 빨라지는 Down swing 구간에서 가장 낮게 나타났다.

표 3. 골프 스윙 동작 분류 성능

Table 3. The performance of golf swing motion classification

	N	N_C	N_{DE}	N_{SE}	N_{IE}	$R(\%)$
Address	136	127	7	2	0	93.38
Take back	123	99	21	3	0	80.48
Top of swing	20	18	0	2	0	90.00
Down swing	77	58	18	1	0	75.32
Impact	26	21	2	3	0	80.77
Follow through	131	109	20	2	0	83.21
Finish	122	109	12	1	0	89.34
Total	635	541	80	14	0	85.20

골프 스윙 동작 분류 과정에서 발생하는 오류는 그림 12와 같이 나타난다. 그림 12-(a)는 삭제오류의 예로 현재 골프 스윙 동작을 분류하지 못할 때 발생하게 되고, 이러한 현상은 빠르게 진행되는 골프 스윙 동작 과정 중에 발생하는 영상 블러와 배경과 중첩되는 구간에서 움직임을 검출하지 못할 때 발생된다. 그림 12-(b)는 대체오류의 예로 현재의 골프 스윙 동작이 다른 클래스로 분류될 때 발생하게 된다. 그리고 현재 골프 스윙에서 발생할 수 없는 동작이 분류될 때 발생하는 삽입오류는 발생하지 않았다. 이러한 오류를 제거하기 위해서는 키넥트의 카메라와 120fps 이상의 고속 카메라를 연동한 환경이 필요하다.

그림 12. 삭제오류와 대체오류의 예: (a) 삭제오류, (b) 대체오류
Fig. 12. The examples of deletion error and sub situation error (a) Deletion error, (b) Sub situation error

VI. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 실시간으로 입력되는 키넥트의 컬러 영상과 센서 데이터를 사용하여 골프 스윙 동작을 7가지로 자동 분류하는 방법을 제안하였다. 분류된 골프 스윙 동작은 각 구간별 관절 정보와 골프 클럽의 이동 궤적 등의 특징 정보를 바탕으로 골프 스윙 자세를 자동으로 분석하는 기술로 확장하고자 한다.

국내 스포츠 분석 소프트웨어는 대부분의 영역에서 카메라의 입력 영상을 사용하여 분석하지만, 이를 컴퓨터가 직접 분석해서 사용자에게 알려주는 시스템은 대중화되지 않고 있다. 현재의 스포츠 분석은 카메라 영상을 전문가가 직접 분석하여 선수들에게 잘못된 부분을 고칠 수 있게 피드백 해주는 방식으로 이루어져 있는데, 본 논문에서 제안한 분류 방법을 기반으로 각 구간에 대한 분석을 더 자세하게 할 수 있는 소프트웨어의 개발이 이루어진다면 세미프로 선수들의 자가진단 프로그램으로 응용이 가능하다.

본 논문에서 제안한 골프 스윙 동작을 분류하는 방법은 더 나아가 골프 프로선수의 스윙에서 얻을 수 있는 관절 정보와 골프 클럽의 운동학적 데이터를 추출하여 데이터베이스를 구축하고 이를 사용하여 실시간 골프 스윙을 하는 동시에 사용자가 자신의 스윙 모습과 프로선수의 스윙 모습이 비교되어 전문가의 코칭과정 없이 스스로 학습할 수 있는 학습형 엔터테인먼트 개발을 목표로 진행될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Kim. Changwook, "Study on the needs of data analysis about analysis method of golf swing", The Korean Journal of Sports Science, vol. 20, No. 5, pp. 1331-1340, 2011
- [2] <http://www.sportscad.com/>
- [3] <http://www.quintic.com/>
- [4] Jung. Sunil, "The Effect of video analysis on the learning of Taekwondo side kick", Dongeui Univ. Physics, Master Thesis, pp. 1-64, 2010
- [5] Hwang. Saebom, "An Analysis of the User Interface in an Interactive Game", KDK Journal, vol. 22, pp. 97-106, June, 2012
- [6] Cho. Cangho, "Optimum Swing Action of Golf", KCDC, vol. 7, No. 3, pp. 37-45, 2005
- [7] Sunyoung Cho, "Hand Gesture Recognition from Kinect Sensor Data", JBE, vol. 17, No. 3, pp. 447-458, May, 2012
- [8] Peera Chotimanus, "Real swing Extraction for Video indexing in Golf Practice Video", Chulalongkorn Univ. 2012
- [9] Richard O. Duda and Pete E., "Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures", Communications of the ACM, 1972, pp.11-15
- [10] S. H. Shin, S. K. Ko, "A Kinematic analysis of Golf Swing Motion", Korean Journal of Sports Biomechanics, Vol. 13, No. 2, pp.101-114, 2003
- [11] Li-Xin Wang, "A Course in Fuzzy Systems and Control", Prentice-Hall, 1997
- [12] Lichao Zhang, "A Kinect-Based Golf Swing Classification System Using HMM and Neuro-Fuzzy", CSIP, pp. 1163-1166, 2012
- [13] Ogden NH, Lindsay LR, Morshed M, Sockett PN, Artsob H, "The rising challenge of Lyme borreliosis in Canada", Can. Commun. Dis. Rep. 34 (1): 1 - 19, 2008
- [14] Cheryl Anderson, Brian Crowell, Tom Mackin, "Golf visual quick tips", 2008
- [15] Y.S.Kim, "The lecture of Golf", A publishing department of Jeonju Univ., 2000

저 자 소 개

박 준 옥

- 2012년 8월 : 국립한밭대학교 제어계측공학과 공학사
- 2012년 9월 ~ 현재 : 국립한밭대학교 제어계측공학과 석사과정
- 주관심분야 : 영상처리, 퍼지시스템

곽 수 영

- 2010년 2월 : 연세대학교 컴퓨터과학과 공학박사
- 2010년 3월 ~ 2011년 1월 : 삼성전자 영상디스플레이사업부 책임연구원
- 2011년 2월 ~ 2012년 6월 : 국립한밭대학교 전자·제어공학과 전임강사
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국립한밭대학교 전자·제어공학과 조교수
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 지능형시스템