

단일 키넥트를 이용한 골프 스윙 특징의 자동 추출

김 병 기 *

Automatic extraction of golf swing features using a single Kinect

Pyeong-kee Kim *

요 약

본 논문에서는 실용적인 TOF 카메라인 키넥트(Kinect) 한 대를 이용하여 골프 스윙의 자동 분석에 필요한 스윙 특징들을 자동 추출하는 효율적인 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 키넥트가 제공하는 관절정보와 깊이(Depth) 정보를 이용하여, 골프스윙에서 중요한 7개의 키프레임과 각 키프레임에서 중요한 스윙특징들을 자동 추출한다. 10 명의 골퍼들로부터 구한 50회의 스윙데이터에 대하여 성능을 확인 하였다. 제안한 방법은 설치가 간단하면서도 비용이 저렴한 환경에서 의미 있는 3차원 골프스윙 특징 추출이 가능하고, 구체적인 수치 값을 자동으로 제시하므로 실제적인 자가 스윙분석 시스템 개발에 사용될 수 있다는 점에서 의의가 있다.

▶ Keywords : 키넥트, Depth영상, 골프 스윙 특징 자동 추출, 키프레임

Abstract

In this paper, I propose an automatic extraction method of golf swing features using a practical TOF camera Kinect. I extracted 7 key swing frames and features using joints and depth information from a Kinect. I tested the proposed method on 50 swings from 10 players and showed the performance. It is meaningful that 3D swing features are extracted automatically using an inexpensive and simple system and specific numerical feature values can be used for the building of automatic swing analysis system.

▶ Keywords : Kinect, Automatic Extraction of Golf Swing Feature, Key Frame

•제1저자 : 김병기 •교신저자 : 김병기

•투고일 : 2014. 10. 29, 심사일 : 2014. 11. 10, 게재확정일 : 2014. 12. 21.

* 신라대학교 IT과(Dept. of IT, Silla University)

I. 서 론

골프는 전 세계인들에게 사랑받는 스포츠이지만 몸 전체의 움직임을 이용하여 긴 클럽으로 작은 공을 맞추기 때문에 다른 운동에 비해 올바른 스윙방법을 배우기에 시간과 노력이 많이 든다. 또한 아마추어뿐만 아니라 유명한 프로선수들도 주기적으로 스윙을 확인하고 교정해야 하는 유지하기 어려운 운동이기도 하다. 무엇보다 잘못된 자세로 스윙할 경우, 스윙 단계에 따라 몸의 여러 부위에 힘을 실어서 회전이나 타격을 가하므로 부상을 당하기 매우 쉽다. 그래서 골프 스윙을 배울 때는 전문가에 의해 스윙이 적절한지 제때 점검하는 것이 매우 중요하나, 좋은 교습가를 구하는 것이 쉽지 않을 뿐만 아니라 비용과 시간이 적지 않게 드는 어려움이 있다.

최근에 골프 스윙 교습이나 분석에 컴퓨터를 이용한 영상 처리 기법을 이용하려는 시도가 있어왔다[1-4]. 스윙동작이 2~3초 이내의 짧은 시간에 매우 빠른 속도로 이루어질 뿐만 아니라, 관찰해야 하는 요소가 많아서 육안으로 분석하기가 쉽지 않기 때문에, 골프 스윙 학습에 자신의 스윙 비디오와 같은 영상을 이용하면 코치와 학습자 모두에게 장점이 있다. 컴퓨터를 활용한 스윙 분석은, 코치에게는 비디오 영상의 반복 및 저속 재생을 통하여 학습자의 문제점을 정확하게 분석하는데 도움을 주며, 스윙 학습자는 자신의 스윙영상을 보면서 지도를 받을 경우 자신의 문제점을 이해하기 쉬울 뿐만 아니라, 교정 전후 영상을 비교함으로써 교정 여부를 확인하기 용이하다는 장점이 있다.

스윙 자동분석 시스템을 만들려면 스윙특징의 자동추출과 추출된 특징을 이용한 스윙의 자동분석으로 이루어지는 두 단계가 필요하다. 스윙분석에 어떤 기준을 사용할 것인가에 따라 필요한 스윙 특징이 달라지며 특징 추출의 성능에 따라 스윙분석 결과도 달라지므로, 정확한 스윙특징의 추출은 성공적인 스윙자동 분석에 있어서 우선적이고 중요한 단계라고 볼 수 있다. 모든 골퍼들에게 공통으로 적용될 수 있는 절대적인 표준 스윙이 존재할 수 없으므로, 개인별 스윙분석을 위해서는 체격, 나이, 성별, 몸의 유연성 등에 따라 프로들의 스윙 데이터(특징)를 수집하여 이들의 상대적 비교에 의한 평가가 필요하다. 본 논문에서는 스윙 자동 분석에 앞서, 일반적으로 필요한 스윙분석 데이터 추출을 위한 스윙 특징의 자동추출에 관하여 논한다.

컴퓨터 영상장치를 이용한 스윙분석 장비는 획득된 영상이 갖는 데이터의 차원에 따라 2차원과 3차원 장비로 분류될 수 있다. 프로 선수들의 스윙분석을 위하여 사람의 몸에 다수의

마커(Marker)를 부착하고 여러 대의 카메라를 설치하여 사용하는 3차원 분석 기법이 있으나, 사용 비용이 고가이고 설치 및 이용방법이 번거로워서 대중화되기 어렵다. 고속 촬영 카메라의 가격이 낮아짐에 따라 2차원 영상 처리를 이용한 방법도 제안 되었으나, 어깨와 허리 회전량(각도)과 같은 중요한 스윙 특징의 추출에는 근본적인 한계가 있다는 어려움이 있다. 무엇보다, 기존 시스템들은 측정된 자료에 대한 전문가의 해석이 필요하여 일반인들이 스스로 진단할 수 시스템과는 거리가 멀다는 점에서 실용성이 낮다는 문제점이 있다.

최근에 마이크로소프트사의 키넥트 카메라 출시와 더불어 카메라로부터 피사체까지의 거리 측정이 가능한 Depth카메라를 스포츠 동작 인식에 활용하려는 시도가 있어왔다[5-6]. XBOX360에 사용된 키넥트 1.0은, 기존의 Depth카메라와는 비교되지 않는 낮은 가격에도 불구하고, 측정된 데이터의 오차가 비교적 크고 잡음이 많아서 골프 스윙과 같은 빠르고 예민한 동작 분석에는 한계가 있다. 그러나 최근에 발표된 키넥트 2.0은 해상도 향상과 아울러 TOF(Time of Flight) 방식의 사용으로 깊이 값의 추출과 25개의 관절점 추출이 상당히 안정적이라는 점에서 골프 스윙특징 추출에 사용될 수 있다. 비록 사용자가 카메라를 향하지 않을 경우에 관절 값의 추출이 불안정하고, Depth영상 추출 성능이 최대 30 FPS(Frame per Second) 이기 때문에 스윙의 임팩트 단계에서 안정되고 깨끗한 깊이 영상의 획득이 어려운 점이 있지만 키넥트 2.0(이하 키넥트)은 스윙 전반에 대한 특징 추출에는 매우 효율적이라 판단된다.

골프 스윙 특징 추출이나 동작 분석에 깊이정보와 관절정보를 제공하는 키넥트를 사용할 경우 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 2차원 카메라에서는 매우 구현하기 어려운 사람과 배경의 완벽한 분리가 가능하여 배경영역의 간섭 없이 사람의 동작 분석에 집중할 수 있게 한다. 둘째, 그림자나 조명 변화에 강한 깊이 데이터를 획득할 수 있어 촬영환경 변화에 무관한 안정적인 시스템 운영이 가능하다. 셋째, 키넥트 SDK를 이용하여 25개의 관절 정보를 이용할 수 있기 때문에 인체 각 부분 정보의 추출 및 활용이 용이하다. 마지막으로, 기존의 3차원 측정 장비와 비교할 때 설치가 간단할 뿐만 아니라 매우 저렴한 비용으로 3차원 정보 획득이 가능하다.

본 논문에서 제안한 골프 스윙 특징의 자동추출 절차는 그림 1에 나타난 것과 같다. 1단계에서는 사용자의 몸 움직임량과 손의 위치 정보를 이용하여 스윙 시작 프레임(어드레스 프레임)을 추출하고 어드레스 프레임부터 일정 시간동안 깊이, 관절, 신체(Body) 영역 정보를 비롯한 스윙영상을 프레임 단위로 저장한다. 2단계에서는 입력된 깊이 정보와 관절값

들을 이용하여 주요한 키프레임 들을 추출한다. 3단계에서는 각각의 키프레임으로부터 스윙분석에 필요한 스윙 특징들을 추출하고 화면에 출력한다. 4단계에서는 어드레스(Address) 부터 피니쉬(Finish)까지 여러 프레임에 걸쳐서 추출되는 스윙 특징들을 계산한다. 마지막 5단계에서는 전체 스윙 특징값 들을 리포트 형태로 출력한다.

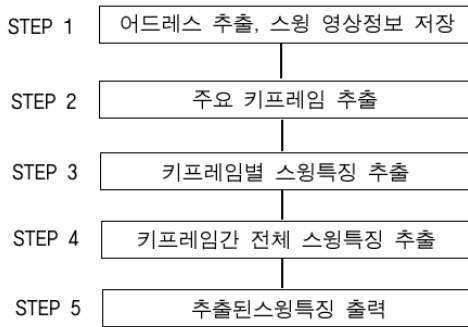


그림 1. 스윙 특징 자동 추출 절차
Fig. 1. Procedure of swing feature extraction

II. 관련 연구

골프 스윙 분석과 관련한 기존 연구들에서는 스윙 특징을 논하기 위하여 대체적으로 5개에서 7개의 주요 스윙국면을 사용하여 왔다[5-9]. 이들을 스윙시의 진행 순서대로 나열하면 어드레스(Address), 테이크어웨이(Takeaway), 스윙탑(Swingtop), 다운스윙(Downswing), 임팩트(Impact), 릴리스(Release), 피니쉬(Finish)이다. 어드레스는 골퍼가 스윙을 시작하기 위하여 클럽을 골프공 직후에 위치시키고 동작을 정지시키는 상태를 말하며 스윙의 출발점이 된다. 스윙탑은 골프 클럽으로 볼을 가격하기 전에 볼의 진행방향과 반대 방향으로 몸통을 꼬았을 때의 정점을 말하며, 어드레스부터 스윙탑 까지를 백스윙(Back Swing) 국면(Phase)이라 한다. 임팩트는 골프클럽이 공을 맞추는 순간을 말하며, 스윙탑에서 임팩트 까지를 다운스윙(Down Swing) 국면이라 말한다. 이러한 스윙 국면의 구분이 필요한 이유는 각 국면마다 추출 및 분석해야 할 스윙특징이 다를 뿐만 아니라 두 개 혹은 여러 개의 국면에 걸쳐서 분석해야 할 스윙특징들이 존재하기 때문이다.

3차원 인식 마커 다수를 몸에 부착하고 여러 대의 카메라를 사용하여 인체의 동작 인식을 시도한 연구들이 있어왔고, 이를 골프 스윙인식에 적용한 예들도 있어 왔다[7-8]. 비록 이러한 3차원 환경이 스윙분석에는 상대적으로 좋은 성능을

나타낼 수 있지만 설치 환경의 복잡성과 고비용, 전문적인 환경설정 및 운영 기술의 필요성, 마커 부착에 따른 스윙의 부자연스러움, 마크간의 중첩문제, 움직임이 빠른 부분(클럽헤드)에 부착한 마커의 떨림 등의 문제들로 인하여 일반 아마추어에게는 거의 사용될 수 없었다. 이에 대한 해결 방안으로 2차원 영상 시퀀스로부터 3차원 정보를 추출하여 인체정보나 스윙 특징 추출을 시도한 연구들도 있었다[9-11]. 입력된 2차원 영상 시퀀스들로부터 3차원 인체모델을 구성하려 하거나 프레임간의 영상차 등의 영상처리 기법을 이용하여 스윙특징 추출을 시도하였다. 그러나 이러한 2차원 기반 연구들은 입력된 데이터의 속성상 완벽한 3차원 정보의 추출에는 한계가 있기 때문에 엑스팩터(X-Factor) 같은 중요한 3차원 스윙 특징의 추출에는 어려움이 많은 것이 현실이다.

골프스윙의 특징을 추출하기 위해서는 촬영환경 뿐만 아니라 어떤 특징을 추출할 것인가를 정하는 것도 매우 중요하다. 논문 [12]에서는 생체역학 정보를 이용하여 각 스윙국면에서 어떠한 요소들이 비거리 향상과 스윙 정확성에 기여하는지에 대한 연구를 수행하였다. 논문 [13-19]에서는 드라이버 스윙에 대하여 볼의 이동거리와 각도 요인에 대한 분석을 비롯하여, 주요 스윙국면에서 스윙 템포(Swing Tempo)와 클럽헤드 궤적을 비롯한 다양한 운동학적 변인들을 분석하였다.

스윙템포나 어깨 기울기와 같이 2차원 정보만으로도 알 수 있는 스윙특징이 있는 반면, 추출해야 할 골프 스윙 특징들 중 중요한 특징들 대부분은 3차원 정보를 필요로 한다. 대표적인 특징들로는 어깨와 힙의 회전량 차이를 나타내는 엑스팩터, 백스윙과 다운스윙 간에 3차원 공간상의 머리의 움직임(Head Sway), 어드레스 시에 상체를 앞으로 숙인 정도를 나타내는 상체 전경각, 클럽의 궤적을 나타내는 스윙플레인 등이 있고, 이들 외에도 스윙분석에 필요한 스윙특징들 대부분은 2차원 데이터로는 정확한 추출이 사실상 매우 어렵다. 따라서 실용적인 스윙 특징 추출이나 분석을 위해서는 설치나 운영환경이 복잡하지 않으면서도 3차원 스윙 정보를 추출할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 여러 대의 카메라나 마커를 사용하는 대신 키넥트 카메라 한대를 이용하여 일반인들도 쉽게 자신의 스윙을 분석할 수 있는 스윙 특징들을 자동 추출하는 방법을 제안한다. 3장에서는 자동추출의 대상이 되는 골프스윙 특징들을 정하고 각 스윙 특징들을 추출하는 방법을 설명한 후, 제안한 방법을 50개의 스윙 영상을 대상으로 한 실험 및 결과를 나타내었다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 결론과 제안한 방법의 향후 활용방안에 대하여 기술하였다.

III. 스윙 특징들의 정의 및 자동 추출

이 장에서는 스윙에서의 주요 단계들을 나타내는 키프레임들의 추출 방법과 각 키프레임과 프레임들 간에 스윙분석에 유용한 스윙특징들을 정의하고 이들을 추출하는 방법을 설명한다.

1 Kinect의 성능 및 활용

Kinect 2.0은 그림2에 나타낸 바와 같이 기존 버전보다 많은 25개의 관절점 정보를 제공한다[20]. 그림에서 표시된 영문자는 키넥트 SDK에서 사용되는 관절점을 나타내는 상수 값이다. 본 논문에서는 직접적으로 관절값을 추출하는 대신, SDK가 제공하는 관절점 정보를 활용한다. 이는, 관절점의 위치라는 정보 자체가 모든 사람이 인정하는 특정한 한 점으로 나타내기 어려운 속성이 있다는 점 외에도 다양한 테스트 결과 키넥트가 제공하는 관절점 정보값이 비교적 정확하다고 판단하였기 때문이다. 사용자의 앞면이 키넥트를 향하고 있는 경우와 두 손이 몸 뒤로 감춰지지 않은 경우에는 상당히 안정적으로 동작함을 확인할 수 있다. 키넥트는 가로 및 세로 방향으로 각각 70.6도와 60도의 측정각(Field of View)을 제공하고, 깊이 영상의 해상도는 가로x세로가 512x424로 스윙 분석하기에 부족하지 않다. 깊이 영상의 초당 입력 속도는 최대 30 FPS 이나 실시간 키프레임 추출 연산 등으로 실제로는 이보다 낮은 FPS를 갖게 되나 스윙 특징 추출에는 충분히 사용 가능하다.

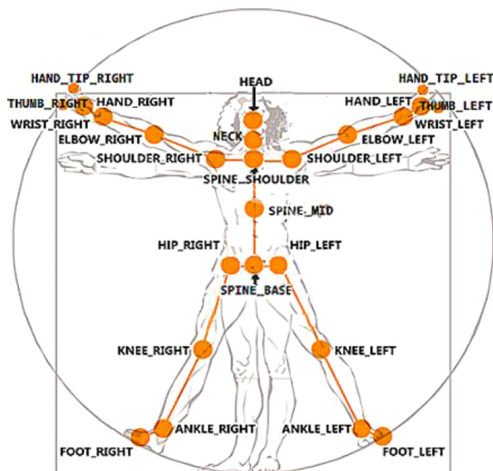


그림 2. 키넥트가 제공하는 25개 관절점
Fig. 2. 25 Joints by Kinect SDK

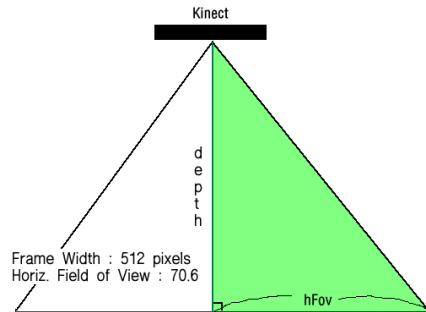


그림 3. 삼각함수를 이용한 한 점의 거리계산
Fig. 3. Calculation of pixel distance

키넥트 깊이 영상을 이용하여 상체의 기울기나 클럽의 각도 등을 계산하기 위하여, 깊이 영상에서 상하 및 좌우 방향으로 한 점(Pixel)이 갖는 거리 값을 계산 하여야 한다. 이는 객체가 키넥트로부터 먼 위치에서 촬영된 경우에는 상대적으로 가까운 객체에서 보다 한 점이 나타내는 실제의 상하 및 좌우 거리 값이 더 크기 때문이다. 다음은 한 점에 대한 키넥트로부터의 거리 값 depth를 매개변수로 넘겨줄 때 가로방향에서 하나의 픽셀이 갖는 거리 값을 넘겨주는 함수이다. CalculatePixelWidth() 함수 내에서, hFov 변수는 가로방향의 뷰필드(Field of View)이고, numPixels 변수는 깊이 영상의 가로 해상도의 1/2이다. 그림 3에 관련 변수의 의미를 나타내었다. 세로방향에 대한 픽셀당 거리 값도 세로방향의 뷰필드 값을 이용하여 마찬가지로 계산할 수 있다.

```
double CalculatePixelWidth(long depth) {
    double hFov = 70.6/2;
    float numPixels = DEPTH_WIDTH/2;

    double T = tan((PI * hFov) /180.);
    double pixelWidth = T * depth;
    return pixelWidth / numPixels;
}
```

2 스윙 키프레임 추출

코치들이 스윙을 분석할 때 주요한 국면(키프레임)과 국면 사이에서 스윙 특징들을 찾기 때문에, 스윙 특징을 추출하기 위해서는 우선 키프레임 들을 추출할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 어드레스, 테이크어웨이, 스윙탑, 다운스윙, 임팩트, 릴리스, 피니쉬로 구성되는 7개의 키프레임을 사용 및 추출한다. 본 논문에서는 오른손잡이 골퍼를 기준으로 하여 기술하

고, 왼손잡이의 경우에는 좌우 반전된 영상을 사용하면 동일한 결과를 얻을 수 있다.

2.1 어드레스 키프레임의 추출

어드레스 키프레임은 사용자가 백스윙을 시작하는 혹은 직전 순간의 프레임이고 전체 스윙의 출발점이 된다. 많은 코치들이 어드레스에서의 자세가 전체 스윙을 가장 많이 좌우한다고 인정하는 중요한 프레임이다. 두 손의 가로 위치가 HIP_RIGHT와 HIP_LEFT관절좌표 사이에 위치하고 깊이 영상에서 일정 시간동안(2초) 이전프레임과의 움직임 차이가 실험적으로 정한 상수 값보다 작을 경우 시스템에서 스윙해도 좋다는 사운드를 발생하게 하고, 이때부터 프레임 단위로 깊이 영상, 관절 정보, 몸 영역 정보들의 저장이 시작된다. 사운드 발생이후 관절정보를 이용하여 골퍼의 두 손이 오른쪽 무릎을 오른쪽 바깥쪽으로 벗어난 프레임을 찾은 후, 역순으로 프레임을 거슬러 가면서 손의 위치가 몸의 중앙에 위치하면서 움직임이 가장 작은 프레임을 찾아서 어드레스 키프레임으로 한다.

2.2 스윙탑 키프레임의 추출

스윙탑 키프레임에서는 클럽의 오버스윙(Over Swing) 정도, 스윙템포, 머리 위치 등의 중요한 스윙 특징들을 추출할 수 있어 중요한 키프레임이다. 스윙탑 키프레임은 사용자의 손이 우측 어깨를 올라 지나간 후에 다시 두 손이 오른쪽 어깨를 내려오는 사이의 프레임들 중에서, 인접 프레임 간 클럽과 몸의 움직임이 가장 적은 프레임을 사용한다. 이는 백스윙과 다운스윙간의 방향전환이 일어날 때 프레임 간 움직임 변화가 가장 적다는 점을 이용한 것이다.

2.3 테이크어웨이와 다운스윙 키프레임 추출

테이크어웨이 키프레임은 사용자의 어드레스 프레임 이후 두 손의 위치가 허리 높이가 되었을 때로 한다. 이 키프레임은 백스윙시의 코킹 정도와 초기 몸 움직임 정도를 알 수 있게 해준다는 점에서 의미가 있다. 다운스윙 키프레임은 스윙탑 키프레임 이후 사용자의 손이 세로 상 우측 허리에 내려온 시점으로 구하고, 비거리 향상에 중요한 지연 히팅(Late Hitting) 정도를 판단하는데 중요한 키프레임이다.

2.4 임팩트 키프레임의 추출

임팩트 키프레임은 공의 방향과 구질 등에 가장 큰 영향을 미치는 구간으로 임팩트 자세와 스윙템포의 적절성 등을 구하는데 매우 중요한 키프레임이다. 임팩트 키프레임의 추출은

스윙탑 키프레임 이후 두 손의 가로 위치가 어드레스 키프레임에서와 같이 HIP_RIGHT와 HIP_LEFT관절좌표 사이에 위치한 프레임 중에서 인접 프레임 간 클럽과 몸의 움직임이 가장 큰 프레임으로 한다.

2.5 릴리스와 피니쉬 키프레임의 추출

릴리스 키프레임은 임팩트 키프레임 이후 사용자의 세로 상 손 위치가 허리 위치에 이르렀을 때로 한다. 이 키프레임은 릴리스에서의 팔의 편 정도와 머리 위치 등 임팩트 후의 스윙자세 적절성을 평가하는데 있어 중요한 키프레임이다.

피니쉬 키프레임은 임팩트 키프레임 이후 클럽과 몸의 움직임이 가장 작은 프레임으로 선정한다. 이 키프레임은 전체 스윙템포를 계산하는데 사용된다.

3 각 키프레임에서의 스윙특징 및 추출

3.1 어드레스와 임팩트 스윙특징 및 추출

어드레스와 임팩트 키프레임은 가장 많은 스윙 특징을 갖는 프레임이며, 스윙분석 시 서로 가장 많이 비교되는 키프레임이기도 하다. 중요한 스윙 특징으로는 상체 숙임각, 어깨 기울기, 어깨-손 위치각, 몸 부분의 좌우 정렬각, 어깨넓이-스탠스 비율, 상체 기울기 등이 있다. 그림 4에 키넥트로부터의 깊이 정보와 관절값 정보를 이용하여 어드레스 프레임에서의 스윙 특징 추출 예를 나타내었다. 그림에서, 키넥트로부터 가까운 영역은 상대적으로 짙은 색으로 표시되고 사람영역 내에서의 작은 점들은 키넥트가 제공하는 25개의 관절점 위치를 나타내고, 가장 윗줄은 프레임번호, 키프레임 이름, 직전 프레임과의 움직임 량을 나타낸다.

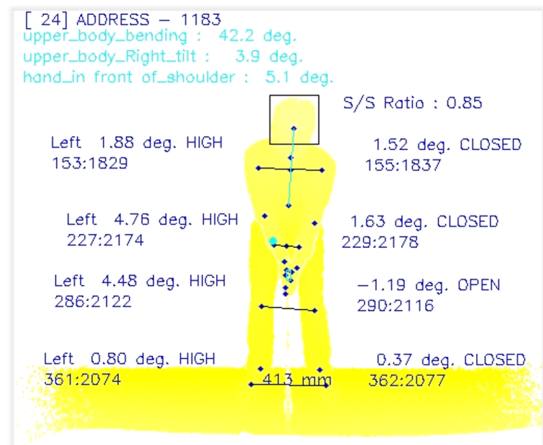


그림 4. 어드레스 스윙특징 추출의 예
 Fig. 4. Extraction of swing features in address frame

상체 숙임각은 허리 위쪽의 상체가 앞으로 얼마나 숙여져 있는가를 말하며, 적당한 상체 숙임각은 스윙평면과 직접적으로 연관이 있다. 상체 숙임각이 클수록(상체를 많이 숙일수록) 보다 평평한 스윙평면을 갖게 되어 볼에 측면방향 구름(Side Spin)을 많이 갖게 하고, 상체 숙임각이 작을수록 세워진 스윙평면을 갖게 되어 볼에 역방향 구름(Back Spin)을 증가시킨다. 상체 숙임각 특징의 추출은 좌우 SHOULDER 관절들과 좌우 HIP 관절들이 키벡트로부터 갖는 깊이 값과 각 점들 간의 세로 거리 값에 대한 삼각함수를 이용하여 구하며 좌우 값의 평균값을 사용한다. 어느 정도의 상체 숙임각 값이 적정한지는 골퍼의 키와 사용하는 클럽의 길이에 따라 달라지며, 그림4에서는 상체숙임각이 42.2도로 표시되어 있다.

어깨 기울기는 좌우 어깨가 지면과 대비하여 갖는 수평 기울기를 말하며, 클럽을 잡을 때 오른손이 왼쪽 아래에 가게 되므로 자연스럽게 오른쪽 어깨가 기울게 되어서 생기는 각이다. 어깨 기울기도 상체숙임각처럼 클럽에 따라 적당한 기울기 값이 달라질 수 있다. 예를 들어, 드라이버 클럽과 같이 클럽헤드가 스윙저점을 지나 올라가면서 볼을 가격하는 어퍼블로우(Upper Blow)인 경우와 아이언과 같이 다운블로우(Down Blow)로 스윙하는 경우에는 어깨 기울기가 달라지는 경향이 있다. 어깨 기울기 특징의 추출은 SHOULDER_LEFT와 SHOULDER_RIGHT 관절점이 상하 간에 이루는 각을 계산함으로써 구한다. 그림 4에서는 1.88도로 표시되어 있다.

어깨에 대한 손의 상대적인 위치를 나타내는 어깨-손 위치 각은 클럽을 쥘 손이 어깨보다 얼마나 앞으로 혹은 뒤로 위치해 있는지를 나타내는 각도로서, 손이 과도하게 몸으로부터 멀거나 가까운 경우에 백스윙 궤도, 스윙면, 손목의 굽힘 정도에 의한 클럽페이스의 닫힘 정도, 공이 클럽페이스(Club Face)의 중앙에 맞는 정도 등 많은 스윙요소에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 일반적으로는 어드레스 시에 양손을 편안하게 늘어뜨리는 정도의 위치를 권장하고, 이때는 어깨 뒤쪽으로 3~6도 정도 위치하게 된다. 어깨와 손 위치각 계산에는 SHOULDER와 HAND의 좌우 관절점이 이루는 각을 사용하며, 그림 4에는 5.1도로 표시되어 있다.

어드레스에서 또 다른 중요한 스윙특징으로는 몸의 각 부분이 타깃 방향과 이루는 각도가 있고, 이를 몸의 정렬각(Body Alignment Angle)이라고 한다. 본 논문에서는 어깨(가슴), 팔, 무릎, 발 네 부분에 대한 정렬 값을 각도로 구한다. 몸의 왼쪽 부분이 오른쪽 부분보다 앞쪽으로 위치하면 닫혀있다(Closed)고 말하고 드로우(Draw)구질의 볼을 칠 때 사용하는 자세이다. 이와 반대로, 몸의 왼쪽이 오른쪽 보다

뒤쪽에 위치하면 열려있다(Open)고 말하고, 페이드(Fade)구질을 구사할 때 취하는 자세이다. 직진성의 일반적인 스윙을 구사할 때는 몸의 좌우 각 부분이 타깃 방향과 일직선이 되는 것이 일반적이다. 어깨정렬각 계산에는 좌우 SHOULDER 관절이 이루는 각을 사용하고, 팔, 무릎, 발에 대해서도 각각 좌우 ELBOW, KNEE, ANKLE 관절값들이 이루는 각을 삼각함수를 이용하여 구한다.

어깨넓이-스탠스 비율은 양발 사이의 간격과 어깨넓이와의 상대적인 길이 비율로서, 너무 좁거나 넓은 스탠스 폭은 비거리, 안정적인 스윙, 그리고 볼의 구질 등에 큰 영향을 주는 요소이다. 어깨넓이-스탠스 비율은 SHOULDER와 ANKLE 관절의 가로값 비율을 계산하여 구하며 그림 4에 0.85로 표시되어 있다.

어드레스와 임팩트 키프레임 모두에서 상체가 타깃 반대방향(오른쪽)으로 얼마나 기울어져 있는지를 나타내는 상체 기울기를 구한다. 적당한 상체 기울기는 힘 있는 임팩트를 가능하게 하고 적절한 머리위치와도 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 어드레스보다는 임팩트 키프레임에서 보다 큰 상체기울기를 가져야 한다. 상체기울기의 계산은 머리 중심점인 HEAD관절점과 척추중심인 SPINE_MID 관절점이 이루는 각도를 이용한다. 그림 5에 임팩트 키프레임에서 구한 스윙 특징의 예를 나타내었고, 상체 기울기는 10.9도이고 그림 4의 3.9도와 비교된다.

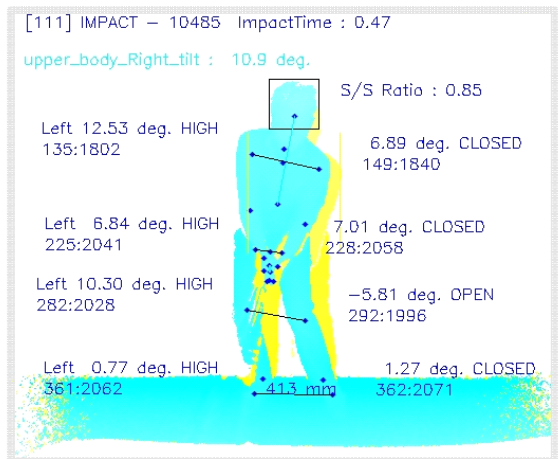


그림 5. 임팩트 스윙특징 추출 예
Fig. 5. Extraction of swing features in impact frame

3.2 스윙탐에서의 스윙특징 및 추출

스윙탐 키프레임에서는 샤프트 각, 클럽헤드의 위치, 어깨 및 힙 회전각과 이를 이용한 엑스팩트 값을 구한다. 샤프트

각은 백스윙과 다운스윙의 경계점인 스윙탑에서 클럽 샤프트가 지면과 이루는 각을 나타내고 왼팔의 과도한 굽힘이나 스윙의 안정성에 매우 직접적인 관련이 있는 특징이다. 특히, 클럽 헤드부분의 세로 위치가 손잡이 부분의 세로 위치보다 낮은 오버 스윙은 대체적으로 피해야 할 샤프트 각이다. 빠른 스윙단계에서의 클럽 샤프트는 표면이 둥글고 적외선을 잘 반사하는 경향이 있어 깊이 영상에서 제대로 나타나지 않는 부분이 있을 수 있다. 따라서 허프 변환과 같은 직선 찾는 알고리즘으로 구하기가 쉽지 않아서, 본 논문에선 클럽헤드와 손잡이 영역을 찾아서 이를 연결하는 직선의 기울기를 이용하여 계산한다. 사용자의 머리 왼쪽-위쪽 영역에서 카메라로부터의 거리가 몸의 거리 앞뒤로 일정 범위 이내인 영역 중에서 샤프트 손잡이 영역을 구하고 깊이 값이 유사한 점들이 모여 있는 클럽헤드 영역을 찾아서 손잡이 부분과 헤드가 이루는 각을 계산함으로써 구한다.

그림 6에서는 수평보다 13.9도 오버 스윙한 것을 보여준다. 스윙탑에서 클럽헤드가 몸의 위치에 비해서 앞뒤로 어떤 위치에 있는가도 좋은 스윙탑을 결정하는 중요한 요소이다. 이는 클럽헤드가 머리보다 얼마만큼 앞뒤에 위치하는 가로 나타내었다. 그림 6의 스윙탑 깊이영상에서는 클럽헤드가 머리 전면보다 12cm 뒤쪽에 위치함을 보여준다.

엑스팩터는 어깨 회전량에서 힙 회전량을 뺀 값으로서 비거리와 가장 밀접한 연관이 있다. 과도하게 작은 엑스팩터 값은 짧은 비거리의 중요한 원인이 된다. 로리 맥길로이와 같은 프로선수의 경우에는 힙 회전각이 60 정도로 예외적인 경우도 있으나, 대체적으로 어깨 회전각 90도와 힙 회전각 45도가 권장되고 그 결과 45도의 엑스팩터가 권장량이다. 어깨 회

전량은 카메라와 가장 가까운 어깨 영역을 찾아서 머리 중심과 이루는 각을 계산함으로써 구한다. 힙 회전각은 어드레스와 임팩트 키프레임 사이에서 왼쪽 허리와 키넥트와의 거리 값 차에 대한 삼각함수를 이용하여 구한다.

3.3 테이크어웨이와 다운스윙에서 스윙특징 및 추출

테이크어웨이와 다운스윙 키프레임에서의 스윙 특징으로는 코킹각과 몸의 움직임 등을 들 수 있다. 코킹각(Cocking Angle)은 클럽과 왼손(forearm)이 이루는 각도를 말하는데, 테이크어웨이에서는 적절한 시점에 코킹이 이루어져야 하고 다운스윙에서는 임팩트 구간에서의 클럽 각속도가 최대가 될 수 있도록 최대한 코킹이 늦게 풀리게 하는 것이 좋다. 코킹각은 손이 허리 위치에 왔을 때 클럽과 손이 이루는 각을 이용함으로써 계산한다. 클럽의 이동속도가 상대적으로 낮은 테이크어웨이에서는 클럽과 손의 위치 추출이 무난하지만 다운스윙에서는 가끔 현재 키넥트의 성능(최대 30FPS)이 클럽의 이동속도를 따라잡지 못하여 클럽 위치 추적이 실패하는 경우도 있다. 이는 향후 보다 빠른 성능의 키넥트가 개발될 경우 해결될 문제로 판단된다.

몸의 움직임은 어드레스와 비교했을 때의 몸의 좌우 위치 이동을 말하며, 이 양이 많으면 스웨이(Sway)가 크다고 하고 몸통 꼬임에 의한 비거리 향상에 방해가 되는 것으로 알려져 있다. 몸의 움직임 정보의 추출은 어드레스-테이크어웨이뿐만 아니라 다양한 키프레임 간에서 측정하였다. 그림 7에 테이크어웨이에서의 스윙특징 추출의 예로 코킹각이 151도인 것을 보여준다.

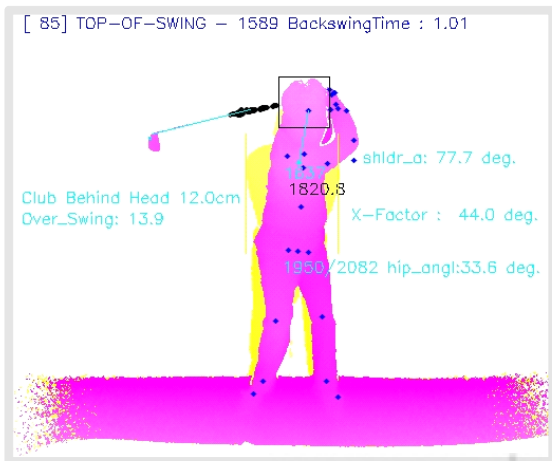


그림 6. 스윙탑에서의 스윙특징 추출 예
Fig. 6. Extraction of swing features in swingtop frame

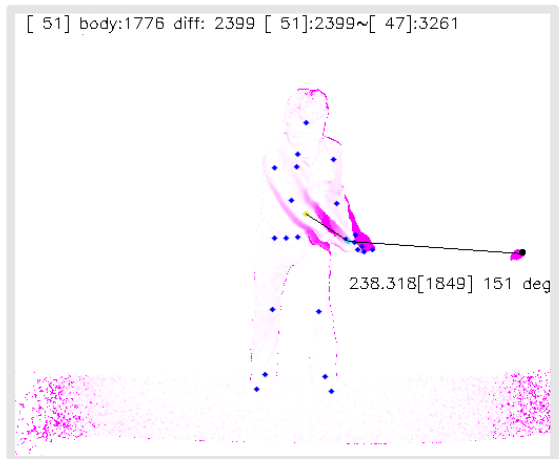


그림 7. 테이크어웨이에서 스윙특징 추출 예
Fig. 7. Extraction of swing features in takeaway frame

3.4 릴리스와 피니쉬에서의 스윙특징 및 추출

릴리스 키프레임의 스윙특징으로는 임팩트 키프레임에서와의 머리와 몸의 위치 차이가 있다. 피니쉬 키프레임에서는 이 프레임 자체만의 별도의 스윙 특징을 추출하는 대신, 이 프레임에서의 머리와 몸의 위치와 임팩트와 같은 다른 키프레임과의 차이를 비교하거나 스윙전체의 스윙템포를 계산하는 것과 같이 여러 프레임에 걸친 스윙특징 추출을 위한 데이터로서 사용한다.

4. 스윙 전체에서의 특징 추출

논문[8] 등에서 프로 골퍼들은 어드레스와 임팩트 키프레임에서 신체중심의 변위 차이가 거의 없다고 하였는데, 이러한 머리와 몸의 위치 변화 같은 스윙 특징은 하나의 프레임이 아니라 여러 키프레임들 사이에서 측정되어야 한다. 신체 각 부분의 위치 이동과 관련한 스윙 특징으로는 백스윙과 다운스윙 단계에서 머리와 몸통의 움직임의 들 수 있다. 본 논문에서는 스윙의 짧은 단계별로 분석이 가능한 스윙 구간별 움직임과 백스윙 및 다운스윙 전체에서의 움직임을 모두 구하였다. 구간별 움직임은 어드레스-테이크어웨이, 테이크어웨이-스윙탑, 스윙탑-임팩트, 임팩트-피니쉬 키프레임 구간들에서의 머리와 몸통의 좌우 및 상하 움직인 값을 구하였다. 작은 스윙구간에서의 움직임은 구체적으로 어떤 국면에서 몸의 움직임이 많이 발생하는지를 분석하는데 사용될 수 있다. 스윙전체의 움직임은 각각 백스윙과 다운스윙 구간의 키프레임들에서 이전 키프레임과의 머리 움직인 값과 경로까지 표시하여 머리와 몸의 움직임을 보다 알기 쉽게 시각화 하였다.

시간에 관련된 스윙특징들로는 스윙템포와 전체 스윙시간이 있다. 스윙템포 특징은 스윙전체 구간에서 상대적 스윙속도의 적절성으로서 스윙의 안정성에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 스윙템포는 백스윙과 다운스윙에 걸리는 상대적 소요시간의 비율로 나타내는데, 일반적으로 골프 숙련자가 비숙련자보다 상대적으로 백스윙 시간은 짧고 다운스윙 시간은 길다 [9]. 스윙템포의 계산은 어드레스, 스윙탑, 임팩트 세 개의 키프레임들에서 OpenCV의 getTickCount()와 getTickFrequency() 함수를 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\text{스윙템포} = ((T_{st} - T_a) / (T_i - T_{st})) / \text{getTickFrequency()}$$

Tst : 스윙탑에서의 getTickCount() 값
 Ta : 어드레스에서의 getTickCount() 값
 Ti : 임팩트에서의 getTickCount() 값

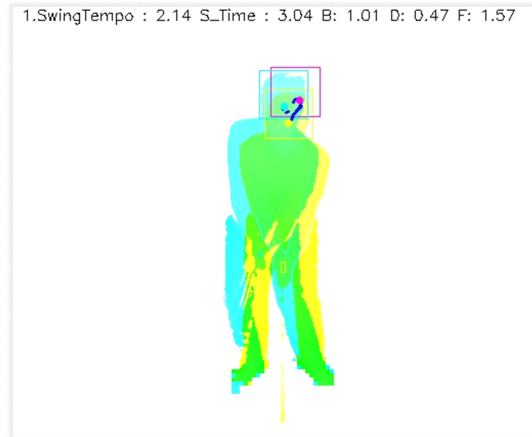


그림 8. 스윙템포와 머리이동 예
 Fig. 8. Extraction of swing tempo and head movement

전체 스윙시간은 스윙의 전반적인 수행속도를 나타내는 지표로서, 어드레스부터 피니쉬까지 전체 키프레임에 걸친 시간으로 나타내며, 피니쉬 키프레임의 TickCount값에서 어드레스 키프레임의 TickCount를 뺀으로써 구할 수 있다. 그림 8에는 전체 스윙시간이 3.04초, 백스윙시간이 1.01초, 다운스윙이 0.47초, 임팩트 후 피니쉬 시간이 1.57초, 스윙템포가 2.14인 숏아이언 스윙의 예를 보였다. 그림에서 세 개의 사각형과 그 속에 표시한 궤적은 어드레스, 스윙탑, 임팩트에서의 머리 위치와 머리의 움직인 경로를 나타낸 것이다.

스윙플레인(스윙평면)은 클럽이 지나간 각도를 알게 하여 볼에 가해지는 상하 또는 좌우 스핀 량의 결정에 중요한 요소이다. 일반적으로 스윙플레인은 모든 구간에서 같은 값을 갖지 않고, 초보자 일수록 8자 형태의 스윙 등으로 백스윙과 다운스윙 구간에 다른 스윙플레인 값을 갖는다. 본 논문에서는 어드레스 프레임에서의 클럽위치를 기준으로 하여 각 키프레임에서의 클럽헤드 위치와의 각도를 계산하여 스윙플레인을 표시한다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 스윙 특징들의 자동 추출을 위한 실험 환경으로, (주)마이크로소프트사의 Kinect 2 TOF 카메라, Kinect SDK 2.0 1409버전, 윈도우즈 8.1, 그리고 인텔 1.8GHz i5 CPU와 8Giga 메모리가 장착된 컴퓨터를 사용하였다. 스윙에는 2~3초의 시간이 사용되었고, 스윙특징들의 자동추출과 출력에는 평균 3~5초가 소요되어서 실용적인 활용에 적합한 것으로 판단된다. 표 1에 본 연구에서 추출한 스윙 특징과 각 특징들을 이용한 분석 항목들을 기술하였다.

추출된 스윙 특징값이 올바른 스윙에서의 특징값과 어느 정도 가까운지 여부는, 체격에 따라 다양한 프로골퍼들로부터 기준이 되는 데이터베이스 자료를 축적한 후 이들 데이터와의 비교로부터 구할 수 있다.

문제에 대하여 이를 보정할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요하다.

IV. 결론 및 활용

표 1. 자동 추출한 스윙 특징
Table 1. Automatically extracted swing features

스윙구면	추출한 스윙 특징	추출률(%)
어드레스, 임팩트	상체전경각, 상체기울기, 스탠스 넓이, 어깨넓이/스탠스 비율, 어깨/허리/무릎/발의 스탠스 방향 및 기울기	100
임팩트	샤프트 위치, 손 위치	88
테이크어웨이, 다운스윙	코킹각, 몸의 스웨이	100
스윙톱	클럽의 위치, 오버스윙 각도	100
	엑스팩터	96
릴리스, 피니쉬	머리위치, 손 위치	100
백/다운 스윙	머리의 위치 및 움직임 몸의 좌우 움직임	100
스윙전체	백스윙/다운스윙 플레인 스윙 소요시간 및 스윙템포 키프레임간 스웨이	100

제안한 방법의 성능을 확인하기 위하여 10명의 아마추어 골퍼로부터 총 50장의 아마추어 스윙영상을 대상으로 스윙 특징 자동 추출을 실험하였다. 스윙동작이라는 것이 복잡한 운동역학적 요소를 수반하여, 동일한 골퍼의 경우에도 스윙마다 스윙 특징값들이 조금씩 다르기 마련이다. 따라서 스윙 분석을 위한 특징 자료를 추출할 때는 한 번의 스윙으로부터 특징값을 확정하는 대신, 수차례 스윙데이터들의 평균값이나 가장 발생빈도가 많은 경우의 특징 값들을 사용하여야 한다.

실험에서 임팩트 프레임에서 손과 샤프트 위치 특징값 추출이 상대적으로 낮은 추출률을 보였는데, 이는 샤프트가 빠르게 움직이는 임팩트 영역에서 클럽의 빠른 이동 속도에 비하여 상대적으로 낮은 키넥트의 처리속도에 기인한다. 즉, 임팩트 순간에 클럽 샤프트가 골퍼의 몸통 정중앙에서 정확하게 포착되지 못하고 앞뒤로 약간 이동된 경우가 발생하였다. 또한 빨리 움직이는 등근 형태의 샤프트 면에서 적외선이 제대로 반사되지 못하여 샤프트의 일부분이 캡처 되지 못하는 경우도 발생하였다. 엑스팩터 스윙특징이 다른 스윙특징 추출의 경우보다 추출률이 상대적으로 낮은 것은, 허리의 회전량 계산 오류가 추출률 저하의 원인이었고, 향후 허리의 회전 각도를 보다 정확하게 측정하는 방법에 대한 연구가 더 필요하다. 키넥트의 FPS 성능으로 인한 보다 정확한 임팩트 순간 포착

본 논문에서는 키넥트 카메라를 이용한 효율적인 골프 스윙 특징 자동 추출방법을 제안하고 실험을 통하여 성능을 확인하였다. 제안한 방법은 다음과 같은 점에서 의의를 갖는다. 첫째, 제안한 방법은 모든 스윙 특징들을 명확한 숫자 값으로 제시하고 사용자의 스윙특징을 정량화 하여 표현하므로 보다 객관적인 스윙분석을 가능하게 한다. 예를 들어, 제안한 방법에서는 백스윙 시에 머리가 좌우로 각각 몇 cm씩 움직였는지 알려주므로, 향후 비슷한 체격조건인 프로선수들의 스윙데이터를 데이터베이스화 하여 비교하면 머리 움직임의 적정성과 오차를 정확하게 수치 값으로 표현할 수 있다.

둘째, 스크린 골퍼와 같은 기존의 스윙분석 방법들은 사람이 아닌 클럽이나 볼의 속도와 탄도 등을 이용하므로 잘못된 스윙 자세를 자동으로 분석하기는 불가능한 반면, 제안한 방법은 스윙하는 사람의 자세로부터 스윙 특징들을 추출하므로 향후 정확한 스윙 자동분석의 자료로 활용 가능하다. 셋째, 기존 방법들에서는 스윙결과에 대한 분석 시 전문가의 도움이 반드시 필요하나, 제안한 방법을 이용할 경우 스윙 특징이 자동으로 추출되므로 특징들을 향후 분석 단계에 활용할 경우에 별도 전문가의 도움 없이 아마추어 개인에 의한 자가 스윙 분석도 가능해진다. 이는 스윙분석에 드는 비용과 시간을 줄여 줄 뿐만 아니라, 코치의 수준에 관계없이 일관성 있고 객관적인 분석이 가능하다는 장점도 있다. 넷째, 어깨와 허리의 회전 움직임에 의한 엑스팩터, 어드레스시의 몸 각 부분의 정렬 상태, 스윙플레인 등 기존의 2차원 분석 환경에서는 추출 불가능했던 스윙특징들을 자동으로 추출하여 실제적인 3차원 스윙분석이 가능하였다. 마지막으로, 제안한 방법은 한 대의 키넥트를 이용하므로 저렴한 비용과 간단한 설치 및 운영이 가능하며, 객관적이고 안정적인 스윙 분석 시스템을 만들 수 있다는 특징이 있다.

제안한 방법을 다수의 스윙 영상에 적용한 결과, 키넥트 캡처 성능에 기인한 임팩트 프레임에서의 일부 특징 추출의 경우를 제외하면, 스윙특징의 자동 추출이 효과적으로 이루어짐을 확인 하였다. 향후, 체격별 프로골퍼들에 대한 표준 스윙특징들을 데이터베이스화 하고, 스윙 직후 각 단계별 및 항목별로 스윙결과를 자동 분석 및 출력하는 개인별 자가 스윙 진단 시스템을 개발할 예정이다. 이러한 시스템은 스윙코치의 레슨 보조 도구로 이용되거나 스크린골프장 같은 곳에서 개

인별 자가 스윙분석 시스템으로 활용 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] Pyeoung-Kee Kim, "Feature Extraction for Automatic Golf Swing Analysis by Image Processing," Journal of the Korea society of computer and information , Vol. 11, No. 5, pp.53-58, Nov. 2006.
- [2] Kajiro Watanabe and Masaki Hokari, "Kinematical Analysis and Measurement of Sports Form," IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 36, No. 3, pp.549-557, March 2006.
- [3] Young-Bom Park, "Design and Implementation of the Golf Swing Analysis System through Captured Motion Picture ," The KIPS transactions. Part B, Vol. 9B, No. 4, pp.453-458, April 2002.
- [4] Hong-Ro Lee et al., "Tracking Algorithm For Golf Swing Using the Information of Pixels and Movements," The KIPS transactions. Part B, Vol. 12B, No. 5, pp.561- 566, May 2005.
- [5] Zhang L et al., "A Kinect Based Golf Swing Recognition and Segmentation System," LNCS 7719, pp.843-847, 2013.
- [6] JunWook Park et al., "Golf Swing Classification Using Fuzzy System," Journal of Broadcast Engineering, Vol. 18, No. 3, pp.380-392, May 2013.
- [7] Patria A. Hume et al., "The Role of Biomechnics in Maximizing Distance and Accuracy of Golf Shots," Sports Medicine, Vol. 35, No. 5, pp. 429-449, May 2005.
- [8] Nils Betzler et al., "3D Motion Analysis of Golf Swings," Proc. 9th Symposium on 3D Analysis of HumanBody, 2006.
- [9] Ibrahim Karliga and Jenq-Neng Hwang, "Analyzing Human Body 3-D Motion of Golf Swing From Single-Camera Video Sequences," Proceedings of ICASSP, pp. V493- V496, 2006
- [10] Raquel Urtasun et al., "Monocular 3-D Tracking of the Golf Swing," CVPR 2, pp.932-938, 2005.
- [11] Nicolas Gehrig et. al, "Visual Golf Club Tracking for Enhanced Swing Analysis," BMVC, 2003.
- [12] Aimee Smith et al., "Professional Golf Coaches' Perception of the Key Technical Parameters in the Golf Swing," 9th ISEA, pp.224-229, 2012.
- [13] W.S. Chong et al., "A Quantitative Evaluation of Golf Swing," Proceedings of IEEE IES, pp.2052 -2057, 2004.
- [14] SeungWon Yu, "The Kinematic Analysis of the Trunk Swing for Golf Swing Drill ," Korea sport research, Vol. 18, No. 4, pp. 53~60, April 2007.
- [15] KyungIl Lee and JangJin Park , "The Kinematic Analysis of Golf Swing by Amateur Female Golfers" Korean Society of Sport and Leisure Studies, Vol. 28, pp. 349~362, 2006.
- [16] JongHun Lee, "The Kinetic analysis of swing motion for golfers," Korean Society of School Physical Education, Vol. 10, pp.87~96, 2000.
- [17] SunJung Kim et al., "A Comparative Study of Kinematic Variables Related with Address and Impact in Golf Driver Swing," Korean Society of Sport and Leisure Studies, Vol. 17, pp.145 ~158, May 2002.
- [18] Shung-Hyu Shin and Seok-Kon Ko, "A Kinematic analysis of Golf Swing Motion," Korean Journal of Biomechanics, Vol. 13, No. 2, pp.101 ~114, Feburary 2003.
- [19] Pyeoung-Kee Kim, "Automatic analysis of golf swing from single-camera video sequences," Journal of Korean Industrial Information Systems Society, Vol. 14, No. 5, pp.139-148, December 2009.
- [20] <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx>.

저 자 소 개



김 병 기

1988: 경북대학교 전자공학과
(전산전공) 공학사.

1990: 경북대학교
전자계산기공학과 공학석사.

1995: 경북대학교 컴퓨터공학과
공학박사.

현 재: 신라대학교
IT학과 교수

관심분야: 패턴인식, 영상처리,
지능처리시스템

Email : pkkim@silla.ac.kr