creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265976

2017년 2월
석사학위논문

다중 카메라와 관성 센서를 이용한 골프 분석 시스템

조 선 대 학 교 대 학 원

제 어 계 측 공 학 과

황 세 현

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다중 카메라와 관성 센서를 이용한 골프 분석 시스템

Golf Analysis System using Multiple Cameras and Inertial Sensor

2017년 2월 24일

조 선 대 학 교 대 학 원

제 어 계 측 공 학 과

황 세 현

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다중 카메라와 관성 센서를 이용한 골프 분석 시스템

지도교수 반 성 범

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2016년 10월

조 선 대 학 교 대 학 원

제어계측공학과

황 세 현

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

황세현의 석사학위논문을 인준함

위원장 조 선 대 학 교 교수 곽 근 창 인

위 원 조 선 대 학 교 교수 반 성 범 인

위 원 조 선 대 학 교 교수 김 윤 태 인

2016년 11월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구 배경 및 목적 ····· 1
제2절 연구 방법 및 환경 ····· 3
제2장 모션 취득 장비와 기존 골프 분석 시스템 ····· 5
제1절 모션 취득 장비 ····· 5
제2절 기존 골프 분석 시스템 ····· 10
제3장 골프 스윙의 이해 ····· 17
제1절 골프 스윙 동작 ····· 17
제2절 골프 스윙의 오류 ····· 19
제4장 제안하는 골프 분석 시스템 ····· 23
제1절 제안하는 골프 분석 시스템 및 환경 ····· 23
제2절 키넥트를 이용한 자세 분석 데이터 계산 ····· 26
제3절 고프레임 카메라를 이용한 샤프트 헤드 추적 ····· 34
제4절 관성 센서를 이용한 손의 움직임 추적 ····· 43
제5장 실험 결과 ····· 53
제6장 결론 ····· 59
참고문헌 ····· 61

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목차

표 1. 09~13년 골프장 및 내장객 현황 ·····1
표 2. 골프 스윙의 기본 원칙 ·····18
표 3. 피험자1의 어깨 기울기 ·····30
표 4. 피험자2의 어깨 기울기 ·····30
표 5. 발의 보폭에 대한 실제 길이와 추정된 길이 비교 ·····33
표 6. 발의 위치에 대한 실제 길이와 추정된 길이 비교 ·····33
표 7. 피험자들의 어깨 기울기와 발의 스탠스 상태 ·····54
표 8. 피험자들의 스윙 템포 ·····58

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 목차

그림 1. 영상처리 분석 시스템 ·····6
그림 2. 광학식 모션 분석 시스템 ·····7
그림 3. 기계식 모션 분석 시스템 ·····7
그림 4. 자기식 모션 분석 시스템 ·····8
그림 5. 지면반력 분석 시스템 ·····9
그림 6. 일반 카메라를 이용한 골프 스윙 분석 ·····10
그림 7. 키넥트 카메라를 이용한 골프 스윙 분석 ·····11
그림 8. V1 프로 골프 스윙 분석 시스템 ·····12
그림 9. 스포램 골프 스윙 분석 시스템 ·····12
그림 10. 센서를 이용한 골프 스윙 분석 ·····13
그림 11. M-트레이서 골프 스윙 분석 시스템 ·····14
그림 12. K-베스트 골프 스윙 분석 시스템 ·····14
그림 13. 카메라와 센서를 이용한 골프 스윙 분석 ·····15
그림 14. 스윙 카탈리스트 골프 스윙 분석 시스템 ·····16
그림 15. 골프 스윙의 기본 7가지 동작 ·····17
그림 16. 골프 초보자들이 겪는 잘못된 스윙 ·····19
그림 17. 제안하는 골프 시스템 흐름도 ·····23
그림 18. 키넥트 V2의 구성 ·····24
그림 19. 키넥트 V2의 스켈레톤 관절 구조 ·····24
그림 20. CASIO FC500S 카메라 ·····25
그림 21. MEMS 기반 9축 관성 센서와 호스트 및 수신기 ·····25
그림 22. 어깨 기울기 특징 추출에 사용된 스켈레톤 관절 ·····27
그림 23. 키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기(평행) ·····28
그림 24. 키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기(오른쪽) ·····28
그림 25. 키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기(왼쪽) ·····29

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 26. 광학식 장비를 이용한 데이터 취득 환경 ·····29
그림 27. 발의 스탠스 종류 ·····30
그림 28. 키넥트 V2를 이용한 실제 길이 계산 방법 ·····31
그림 29. 실제 길이와 키넥트 V2를 통한 추정된 길이 비교 ·····32
그림 30. 골프 샤프트 헤드 추정 알고리즘 순서도 ·····34
그림 31. 골프 샤프트 헤드 검출을 위한 차영상 및 And 연산 ·····35
그림 32. 모폴로지 연산을 통한 잡음 제거 ·····37
그림 33. 케니 연산을 통한 에지 검출 ·····38
그림 34. 허프 변환 ·····38
그림 35. 허프 변환을 이용한 직선 검출 ·····39
그림 36. 알고리즘 보완 후 골프 샤프트 헤드 검출(백스윙) ·····39
그림 37. 알고리즘 보완 후 골프 샤프트 헤드 검출(다운스윙) ·····40
그림 38. 알고리즘 보완 후 골프 샤프트 헤드 검출(팔로우스루) ·····40
그림 39. 커브 피팅을 통한 골프 샤프트 헤드 추적(백스윙) ·····41
그림 40. 커브 피팅을 통한 골프 샤프트 헤드 추적(다운스윙) ·····42
그림 41. 커브 피팅을 통한 골프 샤프트 헤드 추적(팔로우스루) ·····42
그림 42. 골프 스윙 동안의 Kinect V2의 왼손의 관절 좌표 ·····43
그림 43. IMU 관성 센서 출력 데이터 ·····44
그림 44. 손의 위치 추정 알고리즘 순서도 ·····44
그림 45. 골프 스윙 동안의 가속도 데이터 ·····45
그림 46. 골프 스윙 동안의 각속도 데이터 ·····46
그림 47. 속도 데이터 ·····48
그림 48. 하이패스 필터를 사용한 속도 데이터 ·····48
그림 49. 손의 궤도 추정 결과 ·····49
그림 50. 골프 스윙 동안의 SVM 결과 ·····50
그림 51. 올바른 골프 스윙의 손의 각도 ·····51
그림 52. 잘못된 골프 스윙의 손의 각도 ·····52
그림 53. 제안한 골프 스윙 분석 시스템 ·····53

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 54. 커브 피팅을 통한 피험자의 골프 헤드 궤도 추적 ·····54
그림 55. 프로의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····55
그림 56. 중급자의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····55
그림 57. 입문자1의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····56
그림 58. 입문자2의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····56
그림 59. 입문자3의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····56
그림 60. 입문자4의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····57
그림 61. 입문자5의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····57
그림 62. 입문자6의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도) ·····57

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Golf analysis system using multiple cameras and inertial sensor

Hwang, Sye Hyun
Advisor : Prof. Pan, Sung Bum
Dept. of Control and Instrumentation Eng.,
Graduate School of Chosun University

At present, analysis systems may be divided into two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) systems. A 2D analysis system utilizes the input images obtained by a camera and requires the application of image processing; 3D analysis system, on the other hand, utilizes a motion capture system and floor reaction force.

A motion capture based analysis system requires at least 15 or more sensors on the user body, which should be the correct analysis heterogeneity feel to the user. In addition, the constraints of time and large space consumption add to the problems of this type of analysis method. The camera based method can produce significantly better results with only a few restrictions on the time and space, as compared to the motion capture system, it is difficult to analyze precise movements in a constrained environment.

In this study, we propose a method for analyzing a golf swing using one inertial sensor, Kinect V2, and a high-speed camera. The inertial sensor is attached to the hand during the swing, and the fast movement is estimated using Kinect V2, which uses the SDK provided by Microsoft, with the user's body joint coordinates to extract the attitude data. In addition, the high-speed camera tracks and expresses golf shaft head.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

국민 경제 수준의 향상과 여가의 증대 및 스포츠에 대한 국민의식 변화에 따라 건강과 운동에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 따라 삶의 활력을 유지하기 위한 수단으로 운동에 대한 인식이 보다 새롭게 나타나고 있다[1]. 우리나라의 경우, 최근 경제 발전에 따른 국민 생활수준의 향상과 주5일 근무제 덕분에 여가가 증대되면서 골프 또한 여가 스포츠로써 자리 잡아 가고 있으며, 레저스포츠산업의 한 분야로써 스크린 골프와 대중골프장의 활성화는 골프에 대한 폭발적인 수요를 불러일으켰다[2].

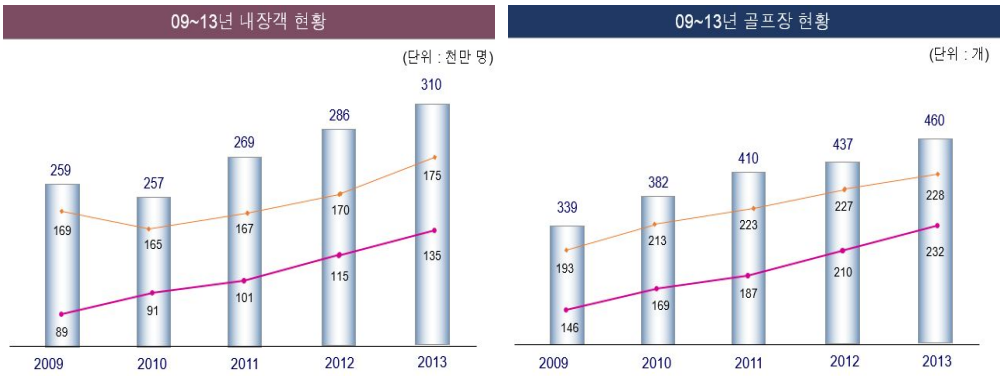


표 1. 09~13년 골프장 및 내장객 현황

한국골프장경영협회에 따르면, 최근 6년간 골프장 개수는 310개에서 550개로 급속도로 증가하였으며 국내 골프 인구는 5백31만명. 연간 골프장 내장객은 3천5백만명에 이르는 것으로 추산된다. 회원제 골프장 1천 754만명, 비회원제 1천 351만명이 이용하였으며 골프 관련 산업 규모도 33조 원에 이르는 것으로 나타나고 있다[3]. 이처럼 골프 인구가 증가함에 따라 골프장 수는 꾸준히 증가하고 있으며 골프는 많은 사람들에게 노후에 즐길 수 있는 적합한 운동 중의 하나로 인식되었다. 골프 종목의 특성상 경기력은 환경적인 요인을 배제한다면, 골프의 수행력에 영향을 주는 요인으로는 거리, 정확성, 일관성 이 세 가지의 상호 밀접한 관계를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

지니고 있다[4]. 세 가지 요인 때문에 많은 전문가는 골프 스윙 연습에 중점을 둘 것을 강조하고 있다. 골프 스윙은 매우 짧은 순간에 이루어지며 눈으로 관찰하기 힘들어서 지도자마다 또는 골퍼마다 그들의 경험과 느낌대로 수많은 이론과 견해가 있었다[6]. 이러한 혼란의 근본적인 원인은 골프 스윙에 관한 과학적 연구가 미흡한 데 있으며, 특히 동작의 오류를 찾아내는 기준 척도가 과학적이지 못한데 그 원인이 있다[7]. 결과적으로 일관성이 없는 개인지도 프로그램, 교육자마다 다른 전달 방식의 차이는 골프를 배우는 사람에게 혼란을 일으킬 뿐만 아니라, 잘못된 골프 스윙을 주입하는 결과를 초래하게 된다[9]. 따라서 컴퓨터 골프 스윙 동작 분석 프로그램을 이용한다면 말과 시범만으로 하는 기존 지도 방법과 훈련 방법으로는 이해하고 습득하기 힘들었던 것을 스스로 깨우치고 만족할 것이다[6]. 기존의 골프 스윙 동작 분석 방법은 2차원 영상 분석 시스템과 3차원 동작 분석 시스템으로 나누어 살펴볼 수 있다.

2차원 영상 분석 시스템은 3차원 동작 분석 시스템과 달리 다양한 골프 스윙 특성을 역학적으로 해석하고, 정량적인 분석 자료를 제공하는 데 어려움이 있지만, 장비의 설치 및 이동이 간편하여 장소에 따른 제약이 없으며, 실시간 녹화된 영상처리를 통한 골프 스윙 동작의 분석으로 현장에서의 지도자와 사용자 간에 즉각적인 피드백이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 기존의 2차원 영상 분석 프로그램의 경우 외국산 제품이 주를 이루고 있고, 개인지도자들이 사용에 많은 불편함을 겪고 있을 뿐만 아니라 외국 프로그램의 비싼 사용료와 분석 장비인 고속 카메라를 포함한 주변 기기들의 구매 또한 개별적으로 이루어져야 한다는 단점이 있다.

3차원 동작 분석 시스템의 경우 피험자의 동작을 캡처하여, 3차원 모델로 동작을 시각적으로 관찰한다. 다양한 골프 스윙 변인을 역학적으로 해석하고 정량적인 분석 자료를 정확히 제공한다는 점에서 주목을 받고 있다[8]. 그러나 장비의 설치 및 이동의 어려움 문제로 인해 실험 장소에 따른 제약을 받게 되고, 측정 및 자료처리에 따른 시간이 소요됨으로 즉각적으로 획득한 자료를 곧바로 피드백을 기대하기 어렵다. 또한, 고가의 장비 및 주변기기들로 인해 개인적인 소유가 어렵고, 주로 골프 용품 관련 업체나 연구 기관에서 쓰이고 있다. 그러므로 기존의 2차원 영상분석 프로그램의 단점을 보완하고, 3차원 동작 분석 시스템과 달리 사용이 간편하고, 합리적인 가격뿐만 아니라 실시간 피드백이 가능한 골프 스윙 동작 분석 프로그램 개발이 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 연구 방법 및 환경

기존의 2차원 분석 방법은 주로 고프레임 카메라를 이용한 방법으로 센서를 이용한 방법보다는 저렴하고 이동과 장소의 제약이 없다는 장점이 있으나 정량적인 분석을 하기에는 어려움이 있다. 3차원 분석 방법은 광학식, 기계식, 자기식, 지면반력이 있다. 광학식은 샘플링 빈도가 높아 빠르고 동작에 제한이 없어 자연스러운 동작을 받을 수 있다. 그러나 사용자 몸에 부착하는 센서가 카메라로부터 숨어있는 경우 데이터 손실의 우려가 있고, 긴 준비시간과 넓은 장소가 필요하다. 기계식은 기구적인 방법을 사용하므로 실내 및 실외 어디에서든지 사용이 간편하고, 단순히 사람이 입는 것만으로 셋팅이 끝난다. 그러나 무거운 장비를 사용자 몸에 부착해야 하므로 자연스러운 동작을 연출할 수 없고, 각 관절에 얼마나 정확하게 위치했는지에 따라 정확도가 달라진다. 자기식 모션 캡쳐 시스템은 센서만 사용자에게 부착하면 되기 때문에 셋업이 쉽고, 기계식 방식에 비해서 자연스러운 동작을 획득할 수 있다. 그러나 시스템 주변에 금속물체나 전자기장을 발생하는 제품에 의해 데이터 손실의 우려가 있다. 지면 반력의 경우 지면에 센서를 위치한 상태에서 사용자가 센서 위로 올라가 진행하므로 몸에 착용이 필요 없어 사용이 간편하고, 양발을 기준으로 상하, 전후, 좌우 방향의 세 힘을 측정할 수 있다. 그러나 힘의 크기를 측정 가능할 뿐 사용자의 자세에 대한 분석의 어려움이 있다.

본 연구에서는 골프 스윙 분석을 위해 MEMS 기반 9축 관성 센서와 키넥트 및 고프레임 카메라를 이용한 분석 시스템을 구축한다. 전체적인 시스템 환경은 키넥트 카메라와 고프레임 카메라를 사용자 정면에 배치하며, 왼손에 관성 센서 하나를 착용하여 스윙이 진행되는 동안의 데이터를 동시에 취득하여 분석한다. 사용된 9축 관성 센서는 3축 자이로 센서, 3축 가속도 센서, 3축 지자기 센서로 구성된다. 이 관성 센서는 작은 크기로 기존의 모션 캡쳐 시스템에서 사용되는 장비보다 작고 가벼워 대상자의 움직임을 자연스럽게 표현할 수 있다. 한 개의 관성 센서는 왼손에 착용하여 일반 카메라로 추출하기 어려운 손의 이동 궤적을 추출한다. 키넥트 카메라는 깊이 센서를 통해 사물의 감지가 가능하며 25개의 인체 관절의 데이터를 제공한다. 제공되는 관절 정보는 골프 스윙 시 사용자의 자세 데이터를 추출한다. 고프레임 카메라는 120 프레임 카메라를 사용하며, 일반 카메라로 검출하기 어려운 골프 샤프트 헤드의 이동 궤적을 표현한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 기존 분석 시스템 기술에 관해 설명하며, 3장에서는 골프 스윙에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 시스템인 키넥트 및 고프레임 카메라와 관성 센서를 이용한 골프 스윙 분석 방법에 대한 설명하며, 5장에서는 제안한 골프 스윙 분석 시스템을 이용한 피험자들의 골프 스윙 분석 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 6장에서는 논문의 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 모션 취득 장비와 기존 골프 분석 시스템

골프 스윙은 다양한 스포츠 가운데 가장 복잡한 움직임을 필요로 하는 스포츠 중 하나로 모든 관절과 근육이 사용되는 운동이다. 빠르고 복잡한 골프 스윙 동작을 영상으로 분석할 때 2차원 시스템은 데이터를 얻는데 한계가 있으므로 3차원 분석 시스템을 사용한 분석이 보다 효과적이다. 그러나 3차원 취득 장비는 주로 고가의 장비이며 사용 환경에 제약이 있다는 문제점이 있다. 2장에서는 스윙 분석을 하기 위한 모션 취득 장비에 대한 설명과 기존의 골프 분석 시스템에 대해 설명한다.

제1절 모션 취득 장비

실제로 움직이는 모션 데이터를 분석하기 위해선 동작의 미세한 특징들을 얻어낼 수 있는 장비가 필요하다. 사람마다 스타일, 무게감, 물리적 특성 등이 다르기 때문에 각 각의 데이터를 사실적으로 표현할 수 있는 취득 장비가 필요하다. 본 절에서는 골프 스윙 분석을 위한 인체 모션 취득 장비에 대해 소개하고 장, 단점에 대해 설명한다.

1. 카메라

2차원 분석은 캠코더와 같은 2차원 영상장치를 통하여 획득한 비디오 영상으로부터 사용자의 모션을 분석하는 방법이다. 영상장치를 이용한 방법은 다수의 카메라를 통해서 생성된 실루엣으로부터 움직임을 추출하여 분석하는 방법과 카메라의 이미지로부터 관절들의 특징점을 추출하는 등 여러 가지 영상처리 기술을 이용해 분석이 가능하다. 또한 빠른 움직임의 모션을 분석하기 위해 고속 비디오 카메라를 이용하여 정확한 모션을 분석하는 방법이 있다.

영상장치를 이용한 방법은 3차원 분석 기법에 비하여 환경 구축 비용이 저렴하고 간단하다는 장점이 있는 반면 다양한 알고리즘을 통해 특징을 분석하는 과정까지 많은 처리 과정을 필요로 하며 주위 환경 변화에 예민하게 반응하여 3차원 분

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

석 기법에 비해 데이터의 정확성이 떨어지는 단점이 있다.

그림 1. 영상처리 모션 분석 시스템

2. 광학식

광학식은 이용되고 있는 모션 캡쳐 시스템 중에서 매우 정확한 방법이다. 즉각적인 피드백은 물론 물체의 특성에 따라 거의 실시간의 움직임을 포착하는 것이 가능하다. 광학적으로 데이터를 얻기 위해서는 사용자의 각 관절 부위에 마커를 여러대의 카메라가 2차원으로 포착하고, 그 데이터를 다시 3차원으로 계산하여 캡쳐한다.

그림 2. 광학식 모션 분석 시스템

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광학식은 마커들의 위치를 조정하기 쉬우며, 고속으로 촬영할 수 있어 유실되는 동작이 거의 없고 사용자의 자유로운 동작을 할 수 있어서 매우 디테일한 동작을 캡쳐해낼 수 있다. 그러므로 몸에 기계를 부착하는 기계식 방식이나 와이어를 몸에 부착하는 자기식 방식과 비교하면 동작의 표현에 있어서 보다 자유롭다. 그러나 광학식은 사전에 많은 준비 작업이 필요하다. 또한, 시스템의 가격이 상당히 비싸고 유지보수도 어렵다. 그리고 상당히 넓은 공간이 필요하다는 점과 마커의 데이터가 손실 될 수 있다는 단점이 있다[10,11]. 상용화 제품으로는 Motion Analysis사의 Eagle System, Vicon 사의 Vicon System 등이 있다[12,13].

3. 기계식

기계적 방법은 인체의 각 부분으로부터 모션을 캡쳐하는 초기의 방법 중 하나로, 간단한 on/off 형태의 동작 감지 시스템과 복잡한 동작 추적 시스템을 포함하고 있다. 후자의 경우 기계식 모션 캡쳐는 기계적인 구조가 복잡하고, 일반적으로 그 디자인과 관련되어 수행을 방해하는 요소가 아니면 가장 이상적인 경우라 할 수 있다.

그림 3. 기계식 모션 분석 시스템

제공되는 데이터의 형태는 광학식 모션 캡쳐 시스템에서 발생하는 빛의 반사로 인한 잡음 등과 같은 문제가 발생하지 않으므로 어떠한 충돌 문제도 없이 실시간

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

으로 노이즈가 적은 데이터를 획득할 수 있다. 기계적 방법은 수행자의 인체 전반에 걸쳐 부착되는 전기자의 집합에 바탕을 두고 있으며, 엔코더는 데이터의 왜곡을 막기 위해 모든 엔코더들을 동시에 읽을 수 있는 인터페이스가 연결되어 있다. 기계 장치가 몸에 직접 부착되기 때문에 사용자의 움직임을 실시간으로 캡쳐할 수 있고, 비교적 노이즈가 적은 깨끗한 데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있다[14]. 그러나 대상자의 주요 관절 부위마다 다소 부담스러운 정도로 무거운 기계장치를 부착해야 하므로 자연스러운 동작을 연출하기 어렵다. 현재 상용화된 제품으로는 Analogues사의 Gypsy, Motion Technologies사의 Xtra등이 있다[15,16].

4. 자기식

자기식 모션 캡쳐시스템은 대상의 각 관절 부위에 자기장을 발생하는 센서를 부착하고 대상의 움직임에 다른 자기장의 변화를 측정하여 위치데이터를 추출하는 방식이다.

그림 4. 자기식 모션 분석 시스템

자기식 모션 캡쳐 시스템은 광학식에서 발생하는 문제점인 마커가 가려져 데이터가 손실되는 경우가 없고, 광학식에 비해 장비의 가격 및 유지비가 저렴하다는 장점이 있다. 또한, 센서만을 대상자에게 부착하면 되기 때문에 준비과정이, 기계식 및 광학식에 비해 시간이 적게 소요된다. 그러나 광학식 장비에 비해 정밀도가 떨어지며, 주위의 금속물체 등에 의해 데이터의 손실이 발생할 우려가 있다는 단

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

점이 있다[17]. 상용화된 제품으로는 Polhemus사의 Star Track, Ascension사의 Motion Star Wireless 등이 있다[18,19].

5. 지면반력

생체역학에서 가장 일반적으로 사용되는 힘 변화기 유형인 지면반력기는 지면반력을 기록하기 위해서 지면과 같은 높이로 설치된다. 지면반력은 전후, 좌우, 수직의 세 방향으로 나타낼 수 있으며 사용자의 체중이동을 통한 힘의 방향데이터를 추출할 수 있다[20]. 지면반력은 스트레인게이지 방식과 압전 방식의 두 가지 유형의 센서를 이용한 제품이 사용된다. 스트레인게이지 모델은 비교적 저렴하고 정적인 능력에서 우수하지만, 압전식 모델에 비해서 측정 범위와 민감도는 떨어진다. 압전식 모델은 고주파 반응을 가지고 있지만 정적인 에너지의 측정을 가능하게 하기 위해서는 특정한 전자 장치를 가지고 있어야 한다.

그림 5. 지면반력 분석 시스템

지면 반력은 다른 장비들과 달리 사용자의 체중 이동에 대한 힘의 방향 데이터를 얻기 때문에 사용자의 전체 모션에 대한 분석이 어렵다는 단점이 있다. 상용화된 제품으로는 Amti 사와 Bertec사의 Force Plates System 등이 있다[21,22].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 기존 골프 분석 시스템

골프 산업의 활성화로 인해 골프를 즐기는 인구가 증가함에 따라 골프 스윙 능력 향상 및 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 골프 스윙 분석은 카메라를 이용한 영상 분석뿐만 아니라 다양한 센서를 이용한 분석 방법에 대한 연구가 진행되고 있으며 카메라와 센서를 동시에 이용한 방법도 활발히 진행되고 있다. 본 절에서는 기존의 골프 분석 연구들과 상용화된 시스템에 대해 설명한다.

1. 영상 기반 기존 연구 및 상용화 제품

영상 정보를 이용한 기존 연구는 주로 차영상을 이용하여 움직이는 객체를 검출하고, 검출된 객체에서 특징 정보를 추출한다. 차영상을 통해 추출된 직선 성분을 갖는 골프 샤프트를 검출하고, 검출된 골프 샤프트를 이용하여 골프 헤드 부분을 추적 및 움직임을 분석하는 방법이 있다[23,24]. 또한, 골프 스윙 동안의 골퍼의 자세 분석을 하기 위해 차영상을 통해 골퍼의 움직임 정보를 추출하고, 추출된 정보를 통해 골퍼의 다양한 신체 부위를 템플릿 매칭이나 옵티컬 플로우를 이용하여 각 부위를 정의 및 추적하여 모션을 분석하는 방법이 있다[25,26].

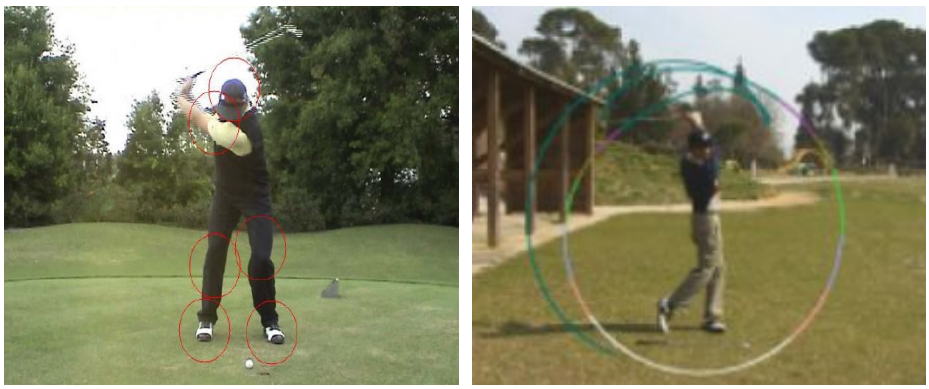


그림 6. 일반 카메라를 이용한 골프 스윙 분석

일반 카메라가 아닌 분석 방법 중에는 깊이 센서가 내장된 카메라인 키넥트 카

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

메라를 사용한 방법이 있다. 키넥트 카메라는 마이크로소프트사에서 제작한 카메라로 깊이 정보를 이용하여 다양한 정보를 추출할 수 있다. 키넥트 카메라를 사용한 방법에는 깊이 정보를 통해 추출되는 관절 정보를 이용하여 구간별 관절 정보를 SVM으로 학습을 시켜 구간 분류 및 분석하는 방법이 있다[27]. 다른 방법으로는 키넥트에서 추출되는 각 관절 정보 중 손을 이용하여 손의 움직임을 분석하는 방법으로 파티클 필터와 키넥트에서 추출된 손의 정보를 이용하여 손의 위치를 보정 및 추정하여 움직임을 분석하는 방법이 있다[28].

그림 7. 키넥트 카메라를 이용한 골프 스윙 분석

영상 기반으로 골프 스윙 분석을 하는 상용화 제품으로는 V1 프로와 스포램이 있다. V1 프로는 미국 Interactive Frontiers사의 제품으로 PGA Learning Center의 공식 스윙 분석 소프트웨어로 국내 골프 채널에서 사용 중인 제품으로 초당 60프레임의 카메라 영상을 최대 8대까지 실시간으로 동시에 녹화, 재생할 수 있다[29].

V1 프로는 스윙 8단계 분석, 두 개의 화면 비교 분석, 스윙 플레인, 스윙 템포 등이 자동으로 분석이 가능하며 그리기 도구를 통해 수작업으로 골프 스윙 동안의 사용자의 원하는 부분의 각 포인트들을 이용하여 각도를 구할 수 있다. V1 프로는 기존의 분석 프로그램과 달리 수작업을 통해 사용자의 자세 분석이 가능하나 매 프레임마다 원하는 부분의 포인트를 지정해야 한다는 불편함이 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 8. V1 프로 골프 스윙 분석 시스템

스포램은 순수 국내 기술로 제작된 소프트웨어로써 운영이 편리한 인터페이스와 다양한 기능을 가지고 있다. 최대 초당 300 프레임 카메라를 통해 취득된 골프 스윙 영상을 이용하여 분석하는 시스템으로 Full HD 영상을 지원한다[30].

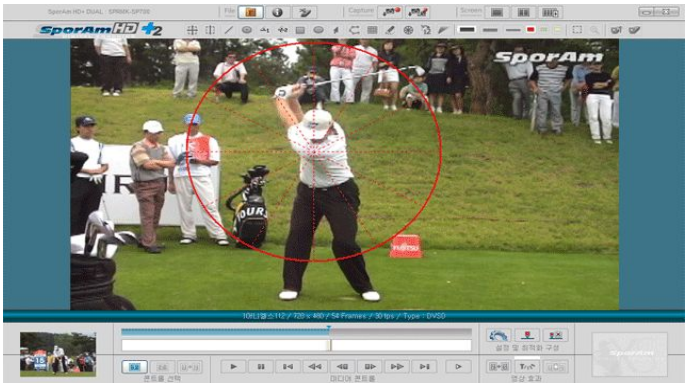


그림 9. 스포램 골프 스윙 분석 시스템

스포램의 기능으로는 실시간으로 원하는 부분의 영상 편집을 가능하게 하며 오토싱크 기능으로 두 영상을 동기화하여 상호 비교를 할 수 있는 기능이 있다. 또한, 사용자의 실시간 궤도 추적이 가능하고, 파노라마 및 측정 도구를 이용하여 다양한 코치내용을 작성할 수 있다. 스포램은 그리기 도구 및 오토싱크 기능을 통

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하여 다양한 분석이 가능하나 이 분석 프로그램 또한, 스윙에 직접적인 문제인 사용자 자세에 대한 분석이 불가능하다는 단점이 있다.

2. 센서 기반 기존 연구 및 상용화 제품

센서를 이용한 기존 연구는 주로 관성 센서를 골퍼의 골프채나 신체에 부착하여 분석하는 방법들이 있다. 관성 센서를 골프채에 부착하여 골프 스윙을 분석하는 방법은 골프 스윙 동안의 골프채에 부착된 센서로부터 가속도 정보와 자이로 정보를 이용하여 골프채의 움직임에 대한 특징 정보를 추출하여 스윙을 분석하는 방법이다[31,32]. 두 번째 방법인 관성 센서를 골프 그립이 아닌 사용자의 몸에 부착하여 골프 스윙을 분석하는 방법은 골퍼의 스윙 움직임에 대한 자세 데이터를 센서를 통해 추출하여 골퍼의 자세를 분석하는 방법이 있다[33,34].

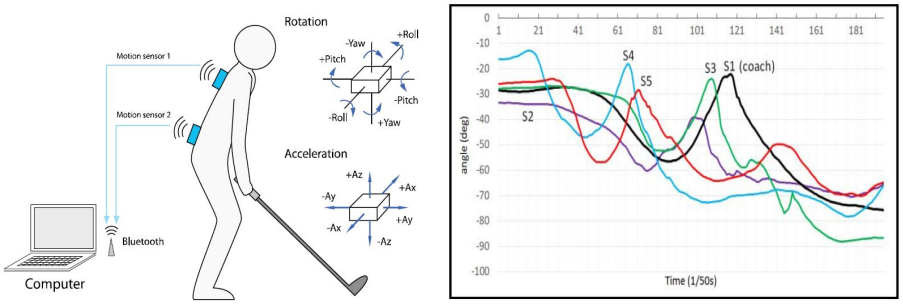


그림 10. 센서를 이용한 골프 스윙 분석

센서를 기반으로 골프 스윙을 분석하는 상용화 제품으로는 M-트레이서와 K-베스트가 있다. M-트레이서는 골퍼들의 올바른 스윙을 위하여 이론으로 증명된 포인트를 최적의 형태로 골프 그립에 소형의 센서를 장착하여 스윙 분석하는 시스템이다. M-트레이서는 보다 멀리, 보다 똑바로, 보다 정확하게 라는 세 가지의 기준을 가지고 스윙 분석을 실행한다. 사용되는 센서는 15g에 불과하며 평소대로 스윙할 수 있을 뿐만 아니라 훈련이나 라운드에 방해가 되지 않는다. 또한, 최대 초당 1000개의 데이터 취득이 가능하며 스마트폰을 이용하여 스윙 분석 결과를 확인할

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수 있다[35].

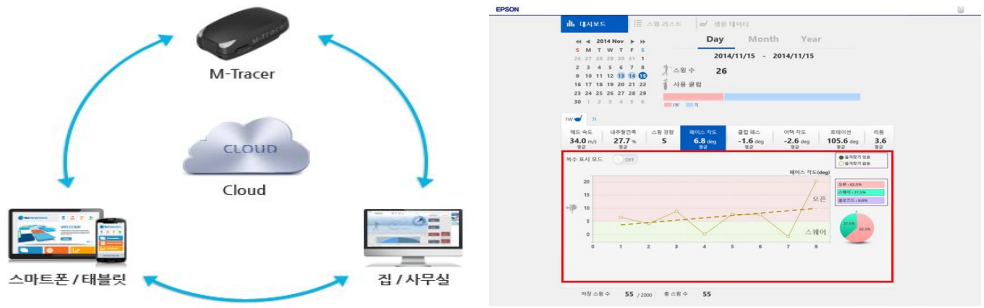


그림 11. M-트레이서 골프 스윙 분석 시스템

M-트레이서는 스윙 동안에 사용자의 헤드 속도, 스윙 궤적, 헤드 속도를 높이기 위해 다운스윙 중에 그립 속도가 감속되는 시점인 언콕 포인트 및 스윙 템포를 분석이 가능하며 그림 7과 같이 분석 결과를 나타낸다. M-Tracer의 경우 클럽에 부착된 센서 하나를 사용하여 골프 클럽과 관련된 궤도, 스피드 및 각도에 관련된 분석이 가능하나 실제 사용자의 자세 분석이 불가능하다는 단점이 있다.

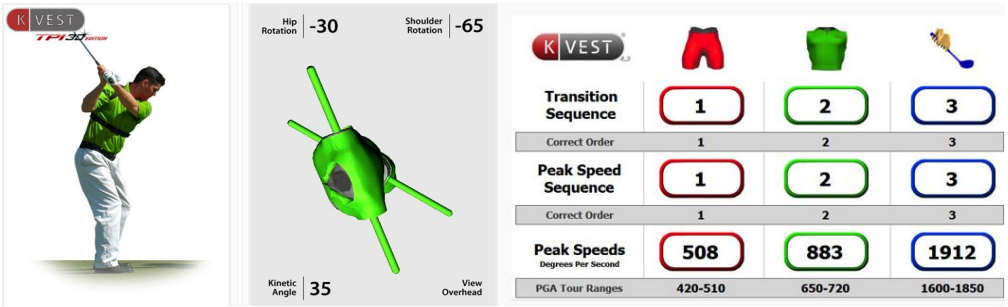


그림 12. K-베스트 골프 스윙 분석 시스템

K-베스트는 PGA 골프 전문가들이 인증한 3D 골프 모션 분석 시스템이다. 이미 미국 등 골프선진국의 골프아카데미에서 도입하고 있는 분석 시스템으로 스윙하는 사람의 골반, 어깨, 그리고 손에 장착된 세 개의 무선 센서를 통해 스윙하는 동안 각각의 부위 움직임을 측정한다. 무선센서는 초당 180 프레임을 지원하며 3차원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

분석을 통해 감지하는 컴퓨터에 전송이 되고, 골퍼의 움직임이 일어나는 가장 중요한 측면들인 힙 로테이션, 스피드, 스윙 시퀀스, 그리고 임팩트 타이밍을 3차원으로 분석하고 결과를 이미지와 그래프로 표현한다[36].

K-베스트의 결과는 골퍼가 어떠한 타입 인지를 분석할 수 있으며, 스윙의 개선을 요구하는 부분이 어떤 부분인지 쉽게 파악이 가능하다. 또한 트레이닝 방법까지 제시할 수 있으며 이러한 분석을 통해 개별 맞춤 훈련과 클럽의 피팅 서비스를 체계적으로 제공할 수 있다. 이러한 시스템은 힙, 척추각도, 어깨 회전의 움직임이 어떻게 클럽까지 전달되는지 체크는 가능하다. 그러나 상체에 2개의 센서가 장착된 베스트와 손에 1개의 센서를 착용해야하며 상체의 움직임만 분석이 가능하다는 단점과 골프 샤프트의 움직임에 대한 분석이 어렵다.

3. 영상 및 센서 기반 기존 연구 및 상용화 제품

최근에는 영상뿐만 아니라 센서를 동시에 사용하여 골프 스윙을 분석하는 연구도 진행되고 있다. 두 개의 장비를 이용한 방법에는 영상과 관성 센서, 영상과 지면 반력을 이용한 방법이 있다. 영상과 관성 센서를 이용한 방법으로는 골퍼의 정면에는 두 대의 카메라를 배치하고 골프채에 관성 센서를 부착하여 골프채의 스윙 궤도를 추적하는 내용으로 스윙 궤도뿐만 아니라 스피드 및 스윙 평면 각도를 분석하는 방법이 있다[37].

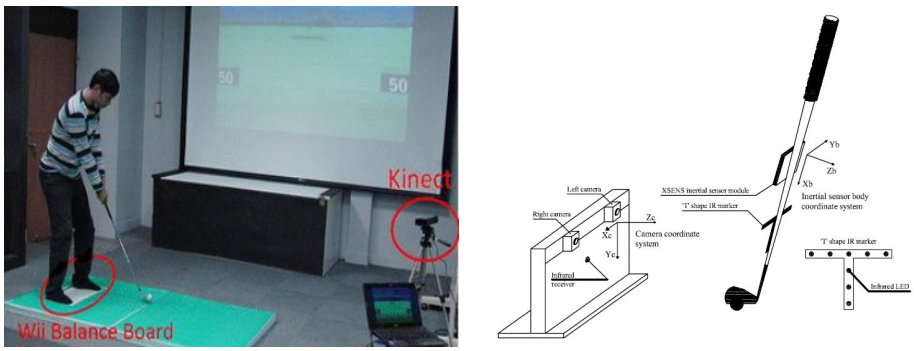


그림 13. 카메라와 센서를 이용한 골프 스윙 분석

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

영상과 지면 반력기를 이용한 방법은 골프 스윙 동안의 골퍼의 신체의 중심 이동 정보를 추출하여 분석하고, 키넥트의 관절 정보 데이터를 이용하여 골퍼의 스윙 자세를 분석하는 방법이 있다[38].

영상과 센서를 동시에 이용하여 골프 스윙을 분석하는 상용화 제품에는 스윙 카탈리스트가 있다. 스윙 카탈리스트는 카메라를 통해 취득된 골프 스윙 영상을 이용하여 분석하는 시스템으로 초당 500프레임까지 제공하는 고속 카메라를 이용하여 데이터를 취득한다. 또한, 지면 반력기를 통해 사용자가 스윙 동안의 몸의 중심 이동에 대한 데이터 분석이 가능하며 공과 골프 클럽이 검출 가능한 센서를 이용하여 다양한 분석이 가능하다.

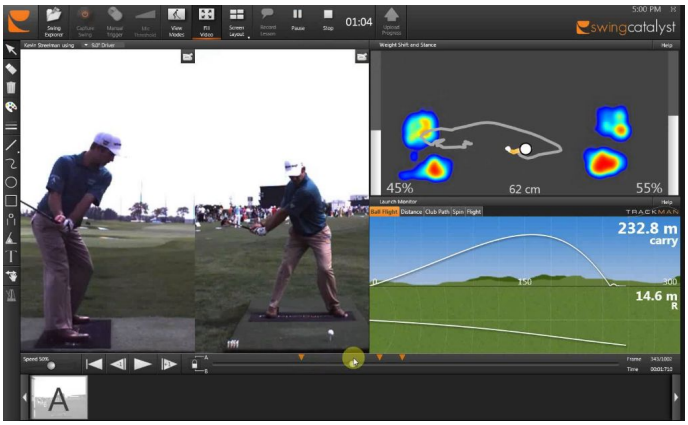


그림 14. 스윙 카탈리스트 골프 스윙 분석 시스템

스윙 카탈리스트의 기능으로는 슬로우 모션 속도와 프레임 단위의 재생이 가능하며, 여러 개의 영상을 저장하여 서로 비교가 가능하다. 또한, 공과 골프 클럽 검출이 가능한 센서를 이용하여 공의 비거리 및 방향을 추정할 수 있는 기능이 포함되어있다[39]. 그러나 스윙 카탈리스트는 모션 분석에 사용되는 센서뿐만 아니라 소프트웨어에 대한 추가 비용이 발생하는 문제점이 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 골프 스윙의 이해

골프란 코스 위에 정지해 있는 볼을 골프 클럽으로 쳐서 정해진 홀에 넣어 그 때까지 소용된 타수의 많고 적음으로 우열을 겨루는 경기이다. 골프 스윙을 잘하기 위해서는 다양한 골프 동작에 대해 이해가 필요하며 잘못된 자세에 대한 숙지 및 예방이 필요하다. 본 장에서는 기본적인 골프 스윙에 대해 설명하고, 제안하는 골프 분석 시스템을 통해 예방하기 위한 TPI(Titleist Performance Institute)에서 제시한 잘못된 골프 스윙 자세에 대해 설명한다.

제1절 골프 스윙 동작

골프 스윙은 고도의 기술과 과학적인 면을 요구하는 운동으로 신체 분절의 회전 및 관절의 복잡하고 연속적인 동작에 의하여 스윙이 이루어진다[40]. 스윙 동작은 신체의 여러 분절과 클럽 헤드의 회전 운동으로 이루어지므로 각 분절의 근육이 수축하는 순서와 클럽의 임팩트 타이밍이 중요하다. 골프에 가장 큰 영향을 미치는 2가지 요소는 거리와 방향이다. 그래서 많은 골퍼가 비거리를 늘리고 샷 방향 정확성을 높이기 위해 노력한다. 비거리에 영향을 미치는 요소는 3가지가 있는데 그것은 임팩트 순간 클럽 헤드의 스피드, 헤드의 접근 각도, 볼의 백스핀 값이다. 그밖에는 바람, 온도, 고도가 있다. 다시 말하면 언제나 일정한 스윙 궤도가 전제되어야 하며 높은 헤드 스피드와 일관성을 유지해야 경기력 향상을 이끌어 낼 수 있다. 이는 결국 골프 스윙 시 동작의 안정성을 위한 트레이닝 방법이 필요하다고 볼 수 있다.

그림 15. 골프 스윙의 7가지 동작

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

골프 스윙은 구분하는 방법은 여러 가지가 존재하지만 본 논문에서는 7단계로 분류한다. 스윙을 시작하기 위해 준비 자세 동작을 취하는 어드레스부터 천천히 뒤로 돌리며 탑으로 가기 전 단계가 백스윙, 클럽 헤드가 제일 위에 있고 샤프트가 지면과 수평을 이루는 상태가 탑오브스윙, 클럽 헤드가 공을 타격하기 직전까지 움직이는 상태가 다운스윙, 클럽 헤드가 공을 타격하는 순간이 임팩트, 임팩트 후 동작이 멈출 때까지의 움직임을 팔로우스루, 마지막으로 팔로우스루 후 동작이 멈춘 상태가 피니쉬로 정의된다. 이중 백스윙과 다운스윙은 클럽, 손, 팔, 어깨, 몸통, 하체의 회전운동으로 구성되며 각기 다른 축을 중심으로 하여 회전한다. 클럽은 손을 지나는 축을 중심으로 회전하고, 어깨, 팔, 손으로 결합된 지레는 수평면에 약간 기울어진 상태로 몸통을 지나는 축을 중심으로 회전한다.

골프 스윙을 향상하기 위해선 골프 스윙의 기본 원칙을 숙지해야하며 골프 스윙의 기본 원칙 6가지는 표 2와 같다[41].

표 2. 골프 스윙의 기본 원칙

원칙	내용
방향 설정	- '공을 어디로 칠 것인가?'를 결정하는 단계로, 그림, 목표, 자세 요소 구성 - 그림은 클럽 페이스가 임팩트 하는 순간에 클럽 각도에 의해 볼의 방향을 결정
스윙 동작	- 정적에서 동적으로 신체의 턴 동작과 팔의 회전동작을 통해 스윙 형성 - 허리와 어깨 턴을 통한 각 속도 증가와 체중의 직선적인 이동을 통한 파워 증가, 회전운동을 통한 클럽 헤드의 최대 스피드를 일으킴으로써 스윙이 이루어짐
스윙 축	- 축 운동에서 제일 중요한 것은 머리 위치 : 머리는 어드레스 상태에서 고정되면 좋은 중심축을 형성 : 어깨 회전 시에 어깨의 정확한 턴이 이뤄져야 축이 흔들리지 않음
스윙 면	- 스윙 시, 잘못된 점을 알아보기 위해서 제일 먼저 체크해야 될 부분 - 스윙 면은 클럽의 종류와 샤프트의 길이에 따라 스윙의 면이 틀리게 형성
스윙 궤적	- 백스윙 시에는 크면 클수록 좋으나 다운스윙 시에는 적으면 적을수록 좋다 - 스윙 궤적은 원이 아니라 타원형
스윙 템포	- 템포는 스윙의 스피드에서 나온다 - 자기만의 템포를 익혀야 좋은 스윙을 할 수 있다

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 골프 스윙의 오류

그림 16. 골프 초보자들이 겪는 잘못된 스윙

TPI란 기업은 골프 스윙과 관련하여 잘못된 자세로 생기는 문제점에 대해 분석 및 예방법을 제시하였다[42]. TPI에서 선정한 잘못된 스윙은 S-posture, C-posture, Loss of Posture, Flat Shoulder Plane, Flying Elbow, Early Extension, Over the Top, Sway, Slide, Late Buckle, Reverse Spine Angle, Forward Lunge, Hanging Back, Casting, Scooping, Chicken Winging으로 그림 16과 같이 총 16가지이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) S Posture

셋업 자세에서 허리를 과도하게 아치를 만드는 스윙 특성이다. 이러한 현상을 고치기 위해서는 몸의 다른 부분을 고정하면서 엉덩이 부분을 기준으로 상체를 앞으로 굽히고 척추를 중립 위치에 유지하는 것이 중요하다.

(2) C Posture

골프 자세에서 상체와 등뼈가 과도하게 구부러진 둥근 자세를 말하며, 목에서부터 꼬리뼈까지 동그랗게 곡선이 되는 것을 볼 수 있다.

(3) Lose of Posture

골프 스윙 중 척추 각을 유지하지 못하고 위아래로 과도하게 움직이는 스윙 오류로 상체를 앞으로 굽힌 자세를 유지하지 모사기 때문에 발생한다. 이 때문에 스윙 플레인이 바뀌게 되고 상체와 하체의 분리 동작을 하는데 어려움을 겪는다.

(4) Flat Shoulder Plane

Loss of Posture의 일부로 백스윙의 탑에서 어깨와 지면이 수직이 되어 나타나는 스윙 오류이다. 스윙의 효율성이 감소하며 백스윙 시 클럽이 위치를 벗어나기 때문에 스윙 면이 변경된다.

(5) Flying elbow

팔꿈치가 옆으로 빠지는 경우 발생하는 현상으로 어깨 관절의 움직임 제한으로 발생한다. 이 문제로 정확한 타겟팅이 어려우며 비효율적인 스윙을 하게 된다.

(6) Early Extension

다운스윙에서 골반과 척추가 너무 일찍 펴지는 문제로 발생하며 균형을 유지하기 위해 상체를 들어 올리는 동작을 나타나게 하는 원인이 되고 무게 중심이 앞쪽으로 밀리게 된다.

(7) Over The Top

다운스윙 시 상체를 과도하게 사용하여 클럽이 스윙 플레인 밖으로 나가는 문제로 골프클럽이 스윙 면 밖으로 던져지게 되고 클럽 헤드가 밖에서 안쪽으로 접

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

근하게 되어 정확한 임팩트를 구사할 수 없다.

(8) Sway

백스윙 중에 하체가 타겟으로부터 측면으로 과도하게 움직여 체중이 바깥쪽으로 나가는 현상으로 스윙 중 올바른 체중 이동을 방해하고, 안정적인 임팩트를 구사할 수 없게 된다.

(9) Slide

다운스윙 중에 하체가 타겟 방향으로 과도하게 이동하는 문제로 골반이 회전하지 않고 측면으로 이동하여 나타나는 경우 발생한다. 결국, 정확한 임팩트 및 힘의 전달이 안 되며 비효율적인 스윙을 하게된다.

(10) Late buckle

피니쉬 동작을 높게 위치하기 위해 무릎을 과하게 구부린 문제로 하체의 움직임의 제한으로 생기는 경우 발생한다. 과도하게 굽힌 무릎으로 인해 정확한 임팩트를 구사하기 힘들다.

(11) Reverse Spine Angle

백스윙 중에 상체가 과도하게 뒤로 기울이거나 옆으로 굽히는 스윙 오류로 골반이 회전하지 않는 문제로 나타나는 경우 발생한다. 이 스윙은 하체가 다운스윙의 시작점에 최적화된 곳에 있지 않고 능력을 제한하는 위치에 있기 때문에 올바른 스윙을 진행할 수가 없다.

(12) Forward Lunge

타겟을 향해 과도하게 상체가 측면으로 이동하는 경우 발생하는 현상으로 하체를 중심으로 올바른 체중 이동이 안되기 때문에 올바른 스윙을 하기가 어렵다.

(13) Hanging Back

다운스윙 중에 체중을 타겟 방향으로 움직이지 않은 오류로 스윙 기술의 부족으로 골반 회전의 조절 능력이 부족한 경우에 발생한다. 이는 일관성 있는 타구를 할 수 없게 되고 회전에 제약을 받게 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(14) Casting

빠른 다운스윙 동작으로 인해 과도한 스핀이 들어간 경우로 손목의 각도가 빨리 풀리게 되어 정확한 스윙을 할 수가 없다.

(15) Scooping

다운스윙 중 잘못된 손목 각도로 인하여 발생하는 문제로 잘못된 임팩트를 구사하거나 빗맞는 경우가 발생한다.

(16) Chicken Winging

Over the top과 관련되어 나타나며, 스윙 중에 악력, 손목, 팔꿈치의 유연성이 떨어지거나. 상체의 힘만으로 스윙할 때 많이 발생한다. 따라서 힘과 속도를 내기가 어려워 볼의 비거리에 손해를 입는다.

이러한 문제는 주로 골프 스윙의 첫 번째 단계인 어드레스에서부터 잘못된 자세로부터 이루어지며 몸의 움직임이 크다거나 스윙 동안 손의 각도의 틀어짐으로 인해 잘못된 자세가 만들어진다[43]. 이러한 문제를 사용자가 인식하고 교정을 한다면 실력 향상에 많은 도움이 될 것이다. 본 논문에서는 손목의 움직임과 관련 있는 문제점인 (15)와 사용자의 기본 어드레스 자세부터의 잘못된 상체의 자세로 발생하는 (1), (2), (3), (4), (5)의 문제를 방지하기 위한 분석 시스템을 제안한다. 키넥트와 관성 센서 한 개를 이용하여 골프 스윙 동안 사용자의 자세 분석 및 손의 움직임을 추정하며 고프레임 카메라를 통해 골프채 헤드를 추적함으로써 골프 스윙 향상을 위한 분석 시스템을 구축한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4장 제안하는 골프 분석 시스템

이 장에서는 제안하는 골프 분석 시스템 환경에 대해 소개하고, 각 장비를 통해 취득된 사용자의 데이터를 이용한 골프 스윙 분석 알고리즘을 설명한다.

제1절 제안하는 골프 분석 시스템 및 환경

제안하는 골프 분석 시스템은 키넥트 V2 및 고프레임 카메라와 한 개의 관성 센서를 사용한다. 제안하는 골프 분석 시스템은 그림 17과 같이 두 대의 카메라와 한 개의 관성 센서가 동시에 진행이 된다. 키넥트 V2와 고프레임 카메라는 사용자의 정면에 위차하며 관성 센서는 왼손에 부착하여 골프 스윙을 진행한다.

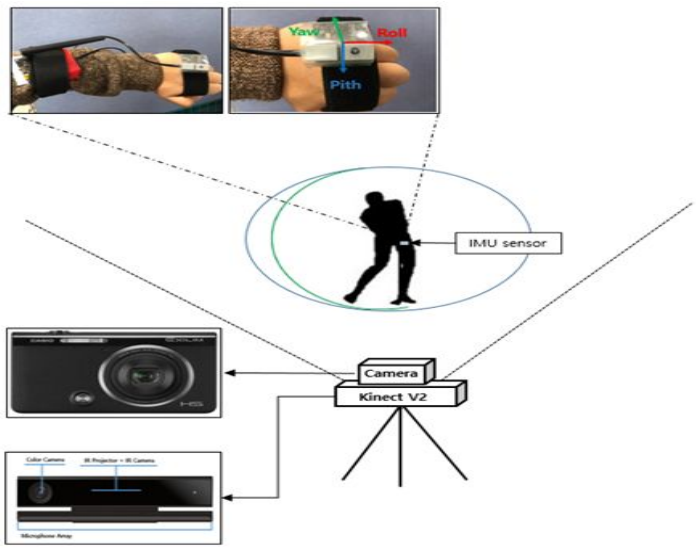


그림 17. 제안하는 골프 시스템 환경

키넥트 V2는 사용자의 어드레스 자세에서의 관절 데이터를 취득하여 어깨의 기울기와 발의 스탠스 상태를 분석한다. 고프레임 카메라는 사용자의 초당 120 프레임의 골프 스윙 영상을 취득하여 저프레임 카메라로 추적하기 어려운 골프 샤프트 헤드를 검출하여 궤도를 추적한다. 마지막으로 왼손에 부착된 관성 센서는 골프

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

스윙 동안 출력되는 가속도와 자이로 데이터를 이용하여 손의 움직임인 궤도와 각도 움직임 및 스윙 템포를 나타낸다.

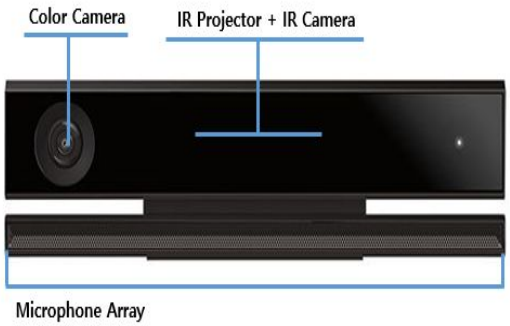


그림 18. 키넥트 V2의 구성

어드레스 자세에서의 사용자의 어깨 기울기 및 발의 스탠스 데이터 취득에 사용된 마이크로소프트사의 키넥트는 V2는 RGB 영상 획득을 위한 CMOS 카메라 센서, 3차원 깊이 측정을 위한 IR 및 CMOS IR 센서, 마이크 어레이 등으로 구성되어 있으며, 깊이 데이터, 스켈레톤 데이터, RGB 데이터를 이용한 다양한 분야에서 활용되고 있다[44]. 키넥트의 입력 방식에는 깊이, 스켈레톤, RGB 데이터가 있다. RGB 데이터는 기존의 컬러 이미지의 데이터를 얻을 수 있고, 깊이 데이터는 카메라를 통해 보이는 장면의 깊이 데이터를 추출한다.

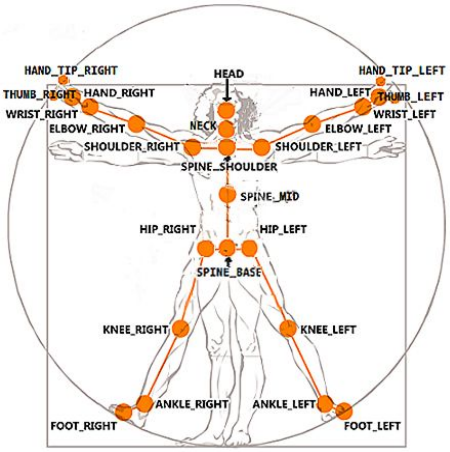


그림 19. 키넥트 V2의 스켈레톤 관절 구조

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

스켈레톤 데이터는 카메라를 통해 인식된 대상의 각 관절에 대한 이동, 회전에 대한 데이터를 추출이 가능하며 최대 6명에 대해 25개의 신체 관절 인식 및 추적이 가능하다[44]. 그림 19는 키넥트 V2의 관절 위치와 개수를 나타낸다.

골프 샤프트 헤드를 추적하기 위해 사용된 고프레임 카메라는 골프 전용 카메라 CASIO FC500S를 사용한다. 이 카메라는 최대 1920x1080 화소를 표현할 수 있으며, 다양한 골프 관련 기능과 프레임을 제공한다.

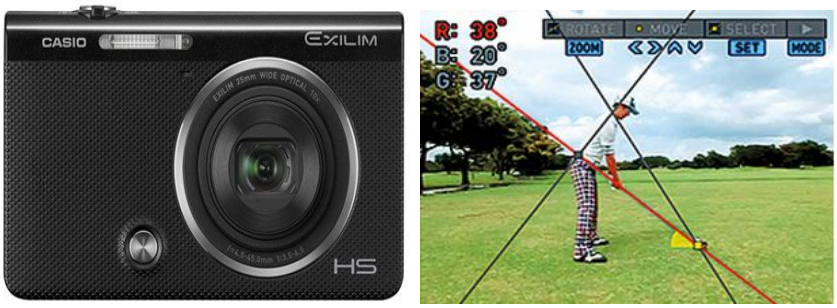


그림 20. CASIO FC500S 카메라

골프 관련 기능으로 트리플 샷과 와이드 샷기능이 있으며 프로와 자신의 스윙 비교가 가능한 2화면 재생 기능과 슬라이드 파노라마, 기능이 있어 사용자가 스스로 분석할 수 있는 기능이 있다[46]. 프레임은 30 프레임부터, 60 프레임, 120 프레임, 240 프레임, 480 프레임, 1000 프레임까지 제공하나 프레임이 높을수록 화질이 낮아지는 단점이 있다. 본 논문에서는 빠른 속도의 골프 샤프트를 검출하기 위해 120 프레임 영상을 이용하여 사용자의 샤프트를 검출하고 궤도를 추적한다.

그림 21. MEMS 기반 9축 관성 센서와 호스트 및 수신

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

마지막으로 손의 움직임을 추적하기 위해 사용된 관성 센서는 MEMS 기반 9축 관성 센서로 3축 자이로센서, 3축 가속도센서, 3축 지자기 센서가 내장된 센서를 사용한다. 사용된 센서는 30㎜x26㎜의 초소형 크기의 센서로 무선통신 방식으로 장소에 크게 제약이 없다. 또한, 작은 크기의 센서가 몸에 부착되기 때문에 사용자에게 이질감이 적으며, 가격이 저렴하다. 관성 센서의 데이터는 오일러, 쿼터니언, 자이로, 가속도, 지자계 센서 데이터 출력이 가능하며 초당 100개의 데이터를 처리한다[45].

제2절 키넥트를 이용한 자세 분석 데이터 계산

골프 스윙 단계에서 사용되는 관절은 발목, 무릎, 골반, 허리, 어깨, 팔꿈치, 손목 등이 있다. 그러나 효율적인 스윙 동작 분석을 위해서 본 논문에서는 사용되는 관절의 수를 최대한 줄여 골프 스윙을 분석하기 위한 특징 데이터를 추출한다. 골프의 기본은 98%의 어드레스 자세와 2%의 스윙이라는 말이 있다. 대부분의 잘못된 스윙은 잘못된 어드레스 자세로 인해 발생하며 좋은 스윙을 위해서는 정확한 어드레스 자세를 취해야 한다. 골프 스윙은 어드레스 자세에서의 어깨 기울기, 무릎 굽힘, 허리 굽힘, 발의 스탠스 상태 등에 따라 결정되며, 특히 어드레스 자세에서 척추 및 어깨의 각도와 발의 스탠스 상태를 일정하게 유지시킨 후 스윙을 해야 정확한 임팩트를 할 수 있다. 본 논문에서는 어드레스 자세에서의 사용자의 어깨의 기울기 및 발의 스탠스 상태를 분석한다.

1. 어깨 기울기

어깨 기울기 변화는 골프 스윙이 이상적으로 이루어지고 있는지를 확인 할 수 있는 요인 중 하나이다. 어드레스 자세에서의 양 어깨의 기울기는 그립을 잡을 시 오른손이 왼손보다 아래쪽에 위치하기 때문에 왼쪽어깨가 오른쪽보다 높게 위치해야 한다. 이때 프로의 평균 어깨 기울기는 10도 정도로 나타나며, 어깨의 기울기는 어드레스부터 임팩트 순간까지 유지가 되어야 정확한 임팩트를 구사할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

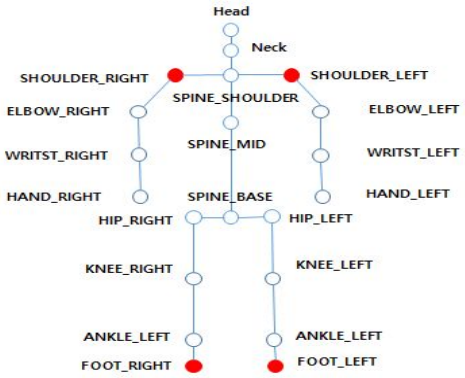


그림 22. 어깨 기울기 특징 추출에 사용된 스켈레톤 관절

어깨 기울기를 구하기 위해서는 양어깨를 지나는 선분과 양어깨 사이를 지나는 선분이 필요하다. 본 논문에서는 그림 22와 같이 양어깨의 관절 좌표와 양발의 관절 좌표를 이용하여 어깨 기울기를 구한다.

$$\overrightarrow{SRSL} = (ShoulderR_x - ShoulderL_x, ShoulderR_y - ShoulderL_y, ShoulderR_z - ShoulderL_z) \quad (1)$$

먼저 식 (1)을 이용하여 3차원 공간 내의 어깨 기울기를 구하기 위해 양 어깨 관절인 Shoulder_Right와 Shoulder_Left를 지나는 선분 벡터를 구한다.

$$FM = \frac{(FootR_x - FootL_x, FootR_y - FootL_y, FootR_z - FootL_z)}{2} \quad (2)$$

또한, 양어깨 사이를 지나는 두 개의 좌표를 구하기 위해 먼저 양발의 관절인 Foot_Right와 Foot_Left를 이용하여 발 사이의 중심 좌표 FM를 식 (2)를 통해 구한다.

$$FM_0 = (FM_{x,}\, 0, FM_z) \quad (3)$$

식 (2)를 통해 구해진 x, y, z 좌표 중 y 좌표가 0의 값을 갖는 FM_0을 구하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고 두 개의 좌표 FM, FM_0을 식 (4)를 이용하여 선분 벡터를 구한다.

$$\overrightarrow{FMFM_o} = (FM_x - FM_{0_}x, FM_y - FM_{0_}y, FM_z - FM_{0_}z) \tag{4}$$

구해진 각 선분 벡터를 식 (5)에 대입하여 두 선분 사이의 사잇각을 구함으로써 어깨 기울기를 분석한다.

$$acos\theta = \frac{SRSL_x FMFM_{0x} + SRSL_y FMFM_{0y} + SRSL_z FMFM_{0z}}{\sqrt{SRSL_x^2 + SRSL_y^2 + SRSL_z^2}\ \sqrt{FMFM_{0x}^2 + FMFM_{0y}^2 + FMFM_{0z}^2}} \tag{5}$$

그림 23~25는 식 (5)를 통해 추출된 어깨 기울기 및 좌표를 나타낸다. 파란색은 왼쪽 어깨, 빨간색은 오른쪽 어깨를 나타내며, 실험 결과 실제 사진에서의 어깨 기울기와 키넥트를 통해 추출된 어깨 기울기가 유사한 모습을 볼 수 있다.

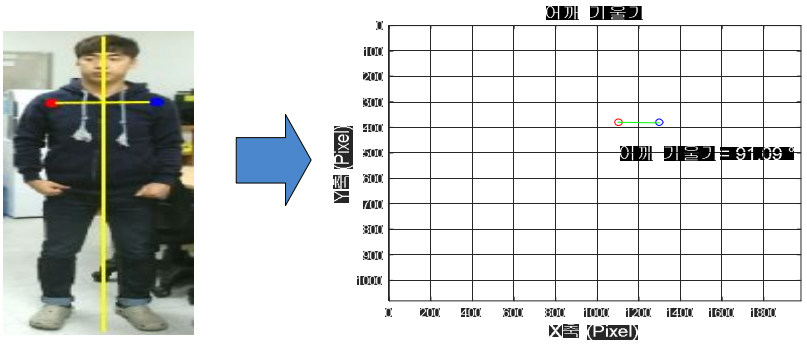


그림 23. 키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기(평행)

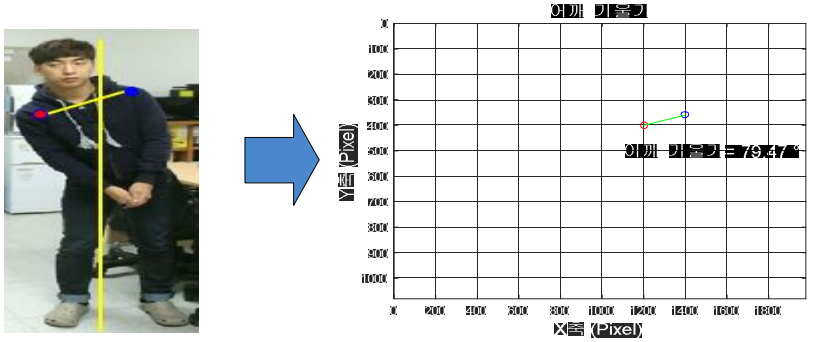


그림 24. 키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기(오른쪽)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

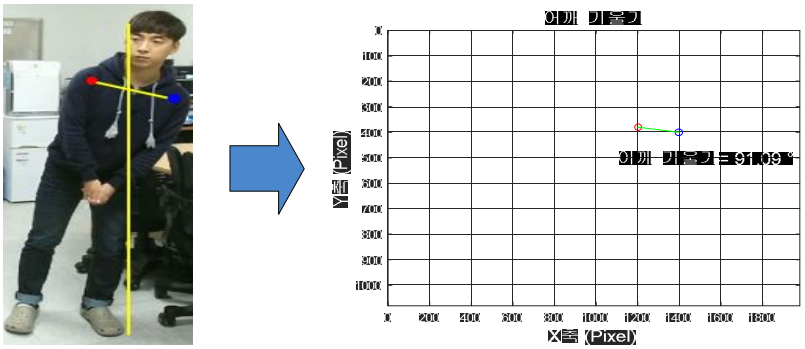


그림 25. 키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기(왼쪽)

키넥트 V2를 통해 추출된 어깨 기울기를 실제로 측정하여 비교하는데 어려움이 따르므로, 본 논문에서는 센서를 사용한 방법 중 가장 정확한 데이터를 추출하는 광학식 장비를 사용한다. 실험 환경은 그림 26과 같으며 총 4개의 광학식 센서와 18개의 마커를 사용자의 몸에 부착하여 데이터를 취득한다.

그림 26. 광학식 장비를 이용한 데이터 취득 환경

표 3, 표 4는 광학식 장비와 키넥트로 추출된 어깨 기울기 비교 결과를 나타낸다. 2명의 피험자가 다양한 각도로 어깨를 기울인 상태에서 광학식 센서와 키넥트 카메라로 동시에 데이터를 취득하여 비교하였다. 실험 결과 최소 0.6도에서 최대 1.4도의 오차가 발생하였으며 평균 오차는 1.0%로 키네트와 광학식 장비의 데이터가 유사한 결과를 나타냈다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3. 피험자1의 어깨 기울기

각도(°)		
광학식	키넥트 V2	오차
90.3	91.2	0.9
108.9	106.7	1.1
79.1	78.3	0.8
91.4	90.7	0.7

표 4. 피험자2의 어깨 기울기

각도(°)		
광학식	키넥트 V2	오차
77.60	78.40	0.8
91.73	92.33	0.6
93.3	91.9	1.4
101.14	101.82	0.68

2. 발의 스탠스

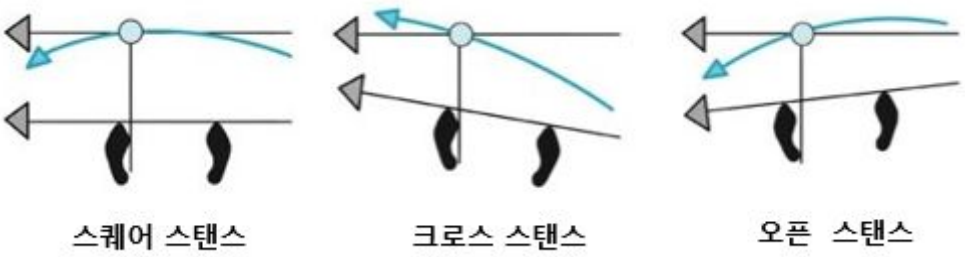


그림 27. 발의 스탠스 종류

골프에서 발의 스탠스는 아주 중요한 포인트 중 하나이다. 스윙의 원 운동을 몸의 중심이 제대로 버틸 수 있어야 올바른 스윙을 할 수 있기 때문이다. 발의 스탠스의 기본은 어깨 너비이며, 채의 길이에 따라 조금씩 달라진다. 스탠스는 두 발의 위치와 두 발의 보폭에 따라 세 가지 종류로 나누어진다.

양발이 볼과 평행을 이루며, 인사이드 인 궤도가 되어 스트레이트 볼을 구사하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

기 위한 스퀘어 스탠스, 볼을 기준으로 왼발보다 오른발이 뒤로 물러난 위치이며, 인사이드에서 아웃이 되어 훅을 구사하게 되는 크로스 스탠스, 볼을 기준으로 오른발보다 왼발이 뒤로 물러난 위치이며, 아웃사이드에서 인 슬라이스을 구사하게 되는 오픈 스탠스로 나뉜다. 본 논문에서는 사용자의 올바른 스윙을 위해 어깨 너비와 발의 보폭를 구하여 사용자가 어깨 너비만큼 올바른 발의 보폭을 유지하는지 분석하며, 양발의 위치를 파악하여 발의 스탠스 상태를 분석한다.

어깨 너비와 발의 너비의 실제 길이를 키넥트 V2를 통해 구하기 위해서는 깊이 카메라의 화각, 해상도 그리고 대상과의 거리를 알아야한다. 해상도와 화각은 키넥트 V2의 규격에 정의되어 있다. 실제 어깨 너비와 발의 보폭을 구하기 위해 컬러영상의 해상도 1920 x 1080 과 화각을 이용한다. 인체가 차지하는 세로 픽셀과 가로 픽셀 수를 통해 길이를 알아 낼 수 있으며, 해상도와 화각을 이용하여 인체가 차지하는 각도를 알 수 있다. 이를 통해 알아내고자 하는 부분의 양 끝점을 픽셀 단위 거리를 계산하고 아래 식을 통해 인체가 차지하는 각도를 구한다.

$$\sigma = \theta \div P \times h \tag{6}$$

θ는 카메라의 화각, P는 전체 픽셀 수, h는 인체가 차지하는 픽셀 수를 의미한다. 세로 길이 화각은 60° 와 세로 픽셀 1080, 가로 길이는 가로 화각 70° 와 가로 픽셀 1920을 이용한다.

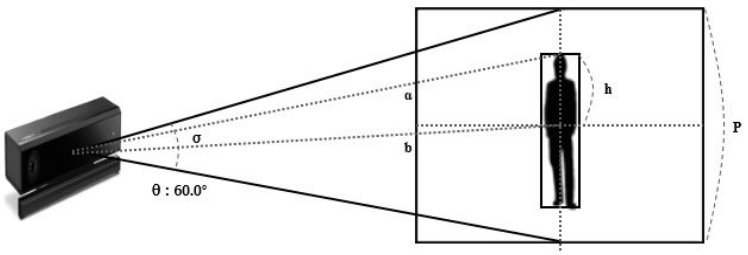


그림 28. 키넥트 V2를 이용한 실제 길이 계산 방법

식 (6)을 이용하여 가로에 대한 각 σ_x와 세로에 대한 각σ_y를 구하고, 구하고자 하는 양 끝의 점의 깊이 값 a와b를 이용하여 제 2 코사인 법칙을 통해 실제 구하고자 하는 가로 n_x, 세로 n_y 길이를 구한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$n = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \times \cos\sigma}\ (m) \tag{7}$$

식 (7)을 통해 구해진 가로, 세로 길이를 유클리디안 거리를 이용하여 실제 길이를 계산한다.

본 논문에서는 골프 스윙 시 발의 보폭이 어깨 너비를 유지하는지 분석하기 위해 어깨 기울기를 구할 때 사용한 양어깨와 양발을 이용하여 길이를 구한다. 또한, 발의 위치에 따라 달라지는 3개의 스탠스를 분석하기 위해 양발의 z축을 이용한다. 키넥트의 z축은 ㎜ 단위로 출력이 되며, 양발의 위치 차이를 계산하여 발의 스탠스 상태를 분석한다. 계산된 결과의 실제 길이와의 정확도를 확인하기 위해 그림 29와 같이 실험을 진행하였다.

그림 29. 실제 길이와 키넥트 V2를 통한 추정된 길이 비교

실제 길이와 키넥트 V2를 이용하여 추출한 길이의 정확성을 검증 확인하기 위해 가로, 세로 3㎝ 눈금자를 사용하여 비교하였다. 발의 너비와 발의 앞, 뒤 위치에 대한 데이터를 비교하였으며 결과는 표 5, 표 6과 같다. 표 5는 발의 보폭인 양발 사이의 폭에 대한 평균 오차를 나타낸다. 총 60회 실험을 진행하였으며 키넥트 V2로부터 정해진 거리를 두고 실험 1부터 5까지 진행하였다. 실험 결과 양발

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

사이의 폭이 20~60cm로 유지되는 경우, 키넥트 V2의 거리에 따라 최소 1.1cm에서 최대 2.0cm의 오차가 있었으며 평균 4.41%의 오차율을 나타냈다.

표 5. 발의 보폭에 대한 실제 길이와 추정된 길이의 비교

실험	발의 보폭(CM)	평균(CM)		
		2M	3M	4M
1	20	1.3	1.1	1.5
2	30	1.3	1.5	1.7
3	40	1.8	1.3	1.6
4	50	1.4	1.7	1.9
5	60	2.0	1.7	1.8

표 6은 양발의 위치 차이가 3~11cm로 유지되는 경우, 키넥트 V2거리에 따른 측정 오차 평균을 나타낸다. 실험 결과, 키넥트의 거리가 1M~5M일 때 최소 0.2cm, 최대 1.0cm의 오차를 나타냈으며 평균 6.94%의 오차율을 나타냄을 확인하였다.

표 6. 발의 위치에 대한 실제 길이와 추정된 길이의 비교

실험	발의 위치(CM)	평균(CM)		
		2M	3M	4M
1	3	0.2	0.3	0.3
2	5	0.4	0.3	0.4
3	7	0.3	0.5	0.4
4	9	0.6	0.5	0.6
5	11	0.8	0.8	1.0

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 고프레임 카메라를 이용한 샤프트 헤드 추적

30 프레임을 제공하는 키넥트 카메라는 빠른 스윙의 골프 샤프트를 검출하는데 한계가 있다. 또한, 센서를 이용할 경우 공을 타격하는 임팩트일 때 센서에 영향을 미치기 때문에 데이터 및 센서에 문제가 발생하는 경우가 있다. 본 논문에서는 120 프레임 카메라를 이용하여 골프 샤프트 헤드를 검출한다. 샤프트 헤드를 검출하기 위한 순서도는 그림 30과 같다.

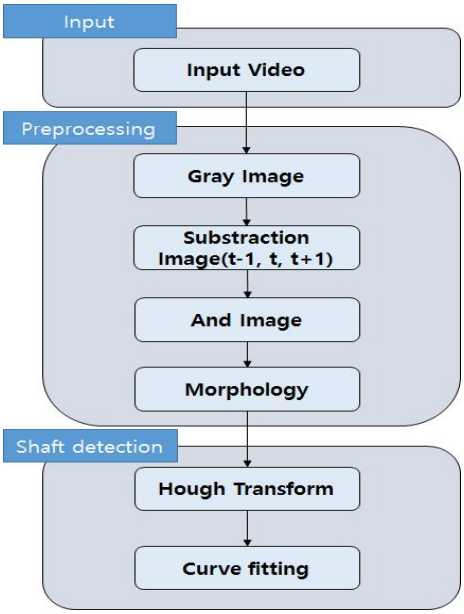


그림 30. 골프 샤프트 헤드 추정 알고리즘 순서도

입력으로 들어온 영상을 그레이 영상으로 변환 후 차영상을 통해 3개의 이미지를 생성한다. 3개의 이미지를 각각 And 연산을 통해 겹치는 부분만을 추출하며 잡음을 줄이기 위해 모폴로지 연산을 수행한다. 모폴로지 연산을 통해 추출된 이미지를 Canny 연산 및 허프 변환을 통해 직선을 찾는다. 이 직선이 샤프트가 되며 샤프트의 끝점을 이용하여 스윙 궤도를 분석한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가. Preprocessing

골프 샤프트를 찾기 위해서는 전처리 과정을 통해 특징을 추출을 해야 하며 움직임을 검출하기 위해 그림 31과 같이 특징을 추출한다.

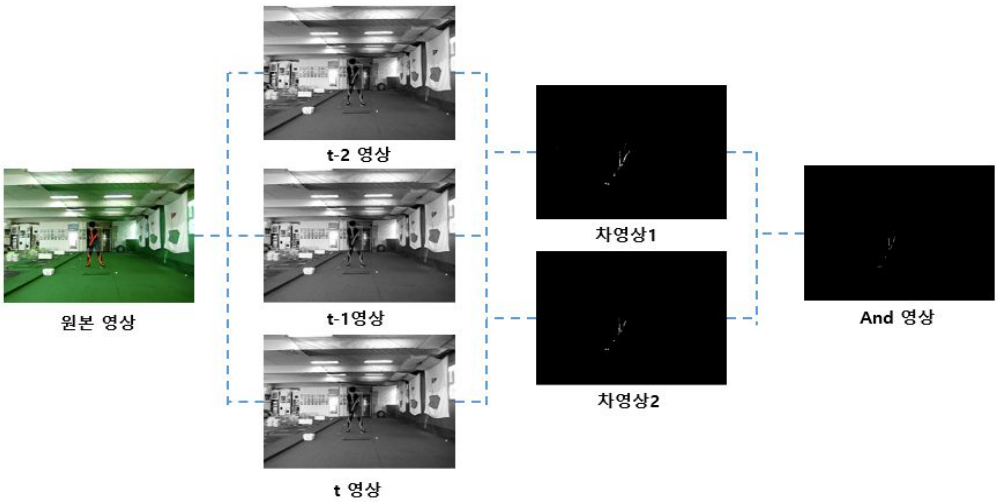


그림 31. 골프 샤프트 검출을 위한 차영상 및 And 연산

원본 영상을 이용하여 현재 영상인 t 영상과 , t-1 영상, t-2 영상을 만든다. 만들어진 3개의 영상을 식 (8)를 이용하여 2개의 차영상을 생성한다.

$$Diff_1 = Gray_t - Gray_{t-1}$$
$$Diff_2 = Gray_{t-1} - Gray_{t-2} \quad (8)$$

생선된 Diff1과 Diff2를 이용하여 두 이미지가 겹치는 부분만을 이용하여 영상을 생성하기 위해 And 연산을 한다.

$$AndImage = Diff_1 \times Diff_2 \quad (9)$$

And 연산을 통해 나온 이미지는 원본 영상 안에서 움직임이 있는 부분만을 검

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

출하게 된다. 그러나 영상 내에 잡음이 생성이 되는 문제가 발생하며 이를 보완하기 위해 모폴로지 연산을 진행한다. 모폴로지 연산은 영상처리 분야에서 경계, 골격과 같은 영역 형태를 표현하거나 서술하는 데 있어서 중요한 영상 특징을 추출하기 위한 방법으로 사용된다. 에지나 영역의 겹침, 잡음 등을 처리하는 데 유용하게 사용되며 팽창, 침식, 닫힘 열림 등의 방법들이 있다.

팽창 연산은 주위의 픽셀을 이용하여 밝은 영역을 늘려가는 연산이며 식 (10)과 같다.

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subset A\} \tag{10}$$

침식 연산은 팽창과 반대로 밝은 영역을 줄이고 어두운 영역을 늘려가는 연삭으로 식 (11)과 같다.

$$A \oplus B = x | (\hat{B}) \cap A \neq \varnothing = x | [(\hat{B})_x \cap A] \subseteq A \tag{11}$$

열기와 닫힘 연산은 침식과 팽창 연산을 이용하여 구현할 수 있다. 열기 연산은 일반적으로 객체의 돌출 부위를 제거해주는 역할과 잡음을 제거하는 역할로 식 (12)와 같다.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \tag{12}$$

닫힘 연산은 외곽선 부분들을 메우고 비워진 픽셀들을 제거해서 부드럽게 만들어주며 식 (13)과 같다.

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \tag{13}$$

본 논문에서는 열기 연산을 통하여 부드러운 외곽선을 추출하고 잡음을 제거한다. 열기 연산을 통해 나온 영상은 그림 32와 같다. 열기 연산을 통해 나온 영상을 허프 변환을 진행하기 위해 에지 검출의 하나인 케니 연산을 진행한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

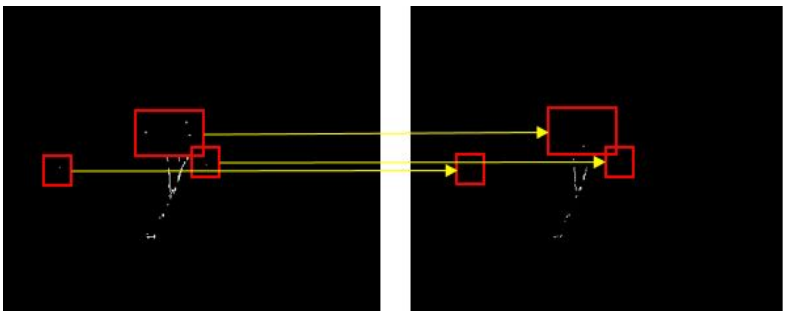


그림 32. 모폴로지 연산을 통한 잡음 제거

케니 연산자는 화소에 대해 밝기 값의 변화가 가장 큰 방향에 있는 주변 화소와 비교하여 이웃 화소들의 기울기보다 클 경우 에지로 분류하는 방법으로 허프 변환을 하기 위해 필요한 연산이다. 케니 연산은 다음과 같은 순서에 의해 영상으로부터 에지를 검출한다.

가우시안 스무딩 마스크 또는 가우시안 함수를 적용하여 영상의 평활화를 식 (14)를 이용하여 진행한다.

$$C(x,y) = G(x,y,\sigma) * f(x,y) \tag{14}$$

평활화된 영상을 가지고 1차 미분 연산자를 식 (15)을 통해 수직, 수평 에지를 검출한다.

$$\begin{aligned} P(x,y) &= (C(x,y+1) - C(x,y) + C(x+1,y+1) - C(x+1,y))/2 \\ Q(x,y) &= (C(x,y) - C(x+1,y) + C(x,y+1) - C(x+1,y+1))/2 \end{aligned} \tag{15}$$

연산된 결과인 수직, 수평 에지를 이용하여 각 화소에 대한 변이의 크기 $M(x,y)$와 방향 $\theta(x,y)$을 식 (16), (17)를 통해 결정한다.

$$M(x,y) = \sqrt{P^2(x,y) + Q^2(x,y)} \tag{16}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$\theta(x,y) = \tan^{-1}\frac{Q(x,y)}{P(x,y)} \tag{17}$$

임의의 임계 값을 활용하여 화소의 변이 크기가 두 개의 이웃 값보다 크면, 에지로 표시하고, 그렇지 않으면 배경으로 결정한다. 케니 연산을 통해 나온 결과는 그림 33과 같다.

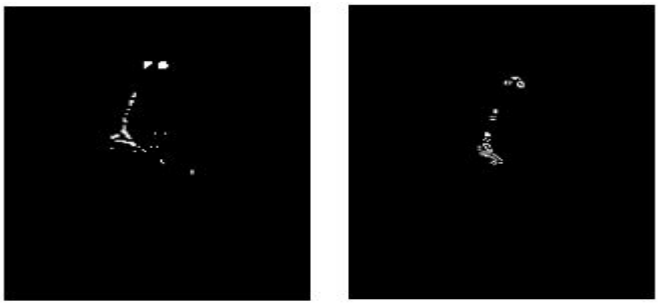


그림 33. 케니 연산을 통한 에지 검출

나. Shaft & Head Detection

추출한 에지 영상을 이용하여 표현 가능한 직선을 찾기 위해 허프 변환을 사용한다. 허브 변환은 영상 안에서의 y-x 기울기를 절편 공간 b-a로 매핑하여 직선을 찾는 알고리즘이다.

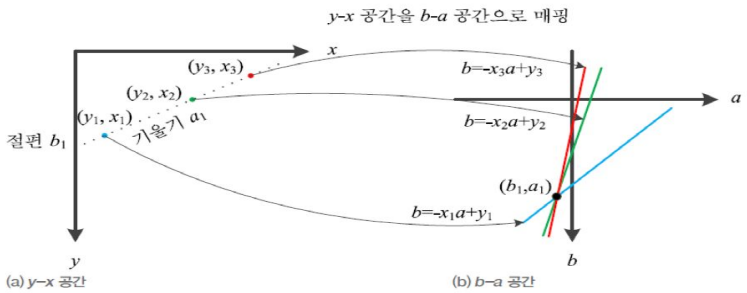


그림 34. 허프 변환

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

식 (18)은 허프 변환에서 사용하는 극좌표를 나타내며, 원점으로부터 거리 ρ에서의 각을 가지는 직선을 표현한다.

$$ycos\theta + xsin\theta = \rho \tag{18}$$

케니 영상을 사용하여 직선 검출한 결과는 그림 35와 같다.

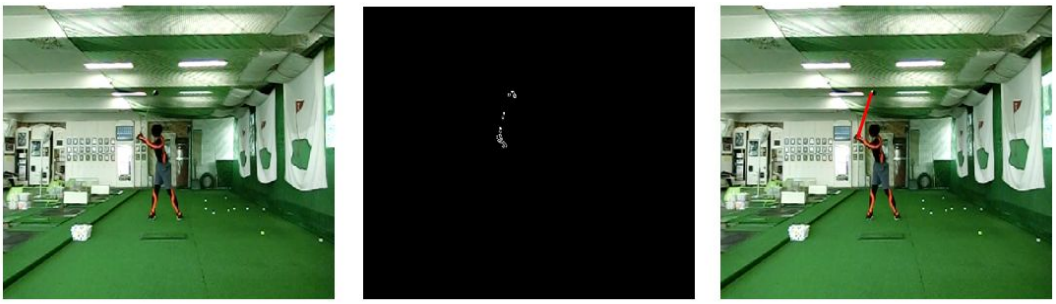


그림 35. 허프 변환을 이용한 직선 검출

검출된 직선은 골프 샤프트를 나타내며 본 논문에서는 직선의 끝을 이용하여 골프 스윙 궤도를 추정한다. 그러나 허프 변환을 이용한 직선 검출은 잘못된 검출이 되는 경우가 있다. 이는 직선을 검출할 경우 길이에 상관없이 조건에 해당되면 모든 직선을 검출하기 때문이다.

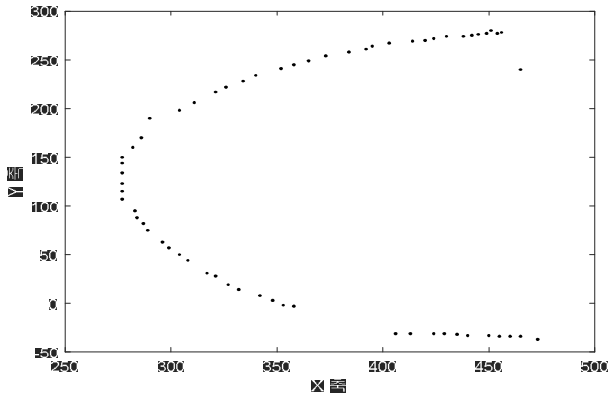


그림 36. 알고리즘 보완 후 골프 샤프트 헤드 검출 (백스윙)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

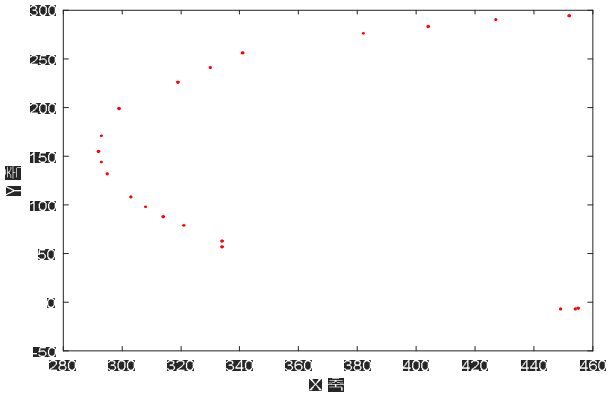


그림 37. 알고리즘 보완 후 골프 샤프트 헤드 검출 (다운스윙)

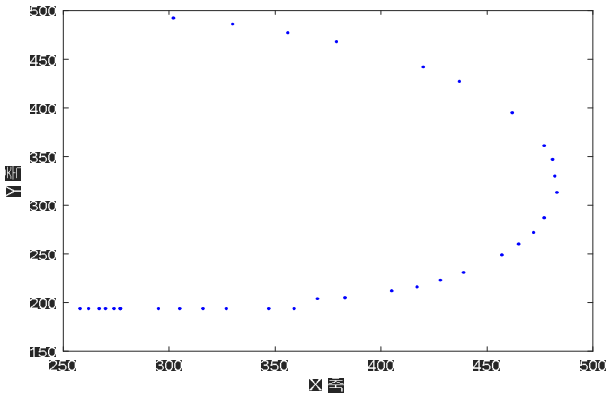


그림 38. 알고리즘 보완 후 골프 샤프트 헤드 검출 (팔로우스루)

문제점을 해결하기 위해 실험을 통해 최대, 최소 픽셀의 길이에 대한 파라미터 제한을 주었으며 적용된 결과는 백스윙은 그림 36과 같으며, 다운스윙은 그림 37, 팔로우스루는 그림 38과 같다.

파라미터 제한으로 보완된 샤프트 헤드 검출의 경우 잘못된 데이터를 제한함으로써 좀 더 정확한 골프채 헤드 검출이 가능하다. 그러나 기본적으로 빠른 스윙으로 인해 특징 정보가 정확하지가 않아 제대로 골프채 헤드 부분이 검출 안 되는 문제가 있다. 이를 보완하여 정확한 골프채 헤드 추적을 위해 본 논문에서는 커브

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

피팅을 사용한다. 커브 피팅은 데이터들을 적합한 곡선으로 맞추는 작업을 의미하며, 이를 통해 수학적 모델의 함수를 찾아 빠진 데이터를 추측하여 데이터와 데이터 사이의 빈 공간에 알맞은 데이터를 채워 넣는다. 커브 피팅에는 크게 회귀분석과 보간법의 두 가지가 존재하며 다양한 방법들이 있다. 회귀분석은 데이터가 상당한 크기의 오차를 포함하거나 데이터가 산재하는 경우 쓰이며 고차 다항식, 푸리에, 가우시안, 사인 등이 있다. 보간법은 데이터가 실제 데이터에 근사한 경우에 쓰이며 B-스플라인, 큐빅 스플라인, 선형 보간 최근방 보간 등이 있다. 본 논문에서는 회귀분석 방법 중에 하나인 고차 다항식 방법을 사용하여 커브 피팅을 진행한다.

$$p(X) = p_1 X^n + p_2 X^{n-1} + ... + p_n X^n + p_{n+1} \tag{19}$$

고차 다항식의 경우 곡선의 경우 최대 9차, 곡면의 경우 최대 5차까지 가능하며 정확한 데이터를 얻기 위해 5차 다항식을 이용하여 진행한다.

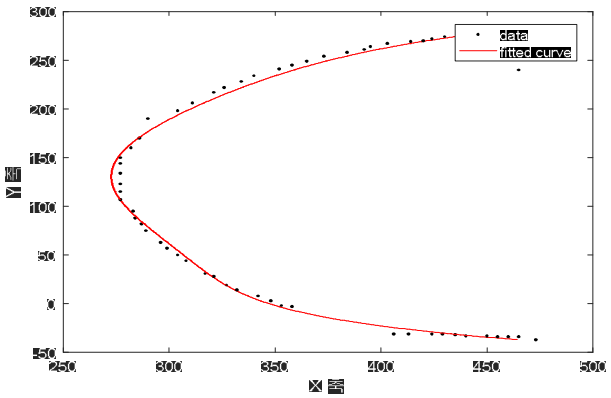


그림 39. 커브 피팅을 통한 골프 샤프트 헤드 추적 (백스윙)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

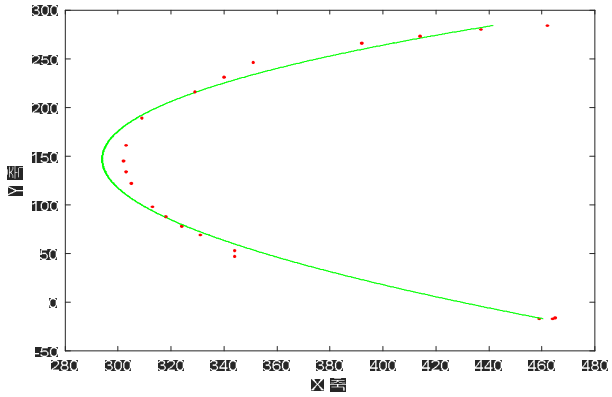


그림 40. 커브 피팅을 통한 골프 샤프트 헤드 추적 (다운스윙)

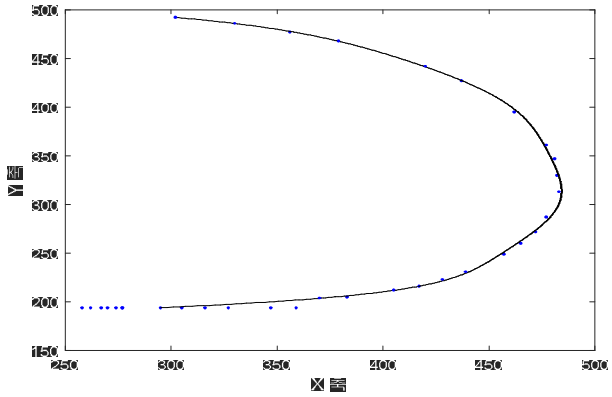


그림 41. 커브 피팅을 통한 골프 샤프트 헤드 추적 (팔로우스루)

실험 결과 기존에 검출되지 않은 데이터 사이에 커브 피팅을 통해 데이터를 채움으로써 기존 데이터보다 부드러운 스윙 궤도가 추정이 된 결과를 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4절 관성 센서를 이용한 손의 움직임 추적

사람의 손과 손목은 손바닥, 손등 쪽으로 구부리게 만들어졌다. 그러나 골프에서의 손의 움직임에서는 이러한 움직임이 제일 금기시 하는 동작으로 손목의 움직임을 많이 써서 공을 치는 경우 잘못된 스윙으로 연결된다. 골프에서 손과 손목의 동작은 백스윙 자세에서의 엄지 방향으로 손목을 굽히는 코킹을 제외하고 그냥 회전만 하는 동작으로, 움직임이 거의 없어야 한다. 그러나 일반카메라를 이용한 방법은 손의 특징을 추출하기 어려워 손의 추적뿐만 아니라 정밀하게 분석하기 어려운 단점이 있다.

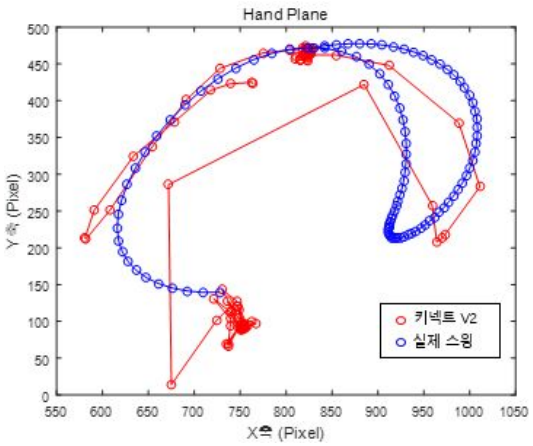


그림 42. 골프 스윙 동안의 키넥트 V2의 왼손의 관절 좌표

그림 42는 실제 골프 스윙 동안 왼손의 움직임과 키넥트 V2의 왼손 관절 좌표를 추적한 결과다. 키넥트 V2의 경우 초당 30 프레임을 제공하기 때문에 빠른 움직임의 데이터를 취득하는데 제한이 있으며, 스윙 동안에 정확한 관절 추적이 어려운 문제가 있다. 본 논문에서는 왼손에 관성 센서 한 개를 부착하여 손의 위치를 추적함으로써 골프 스윙 시 전체적인 스윙 궤도 및 스윙 템포, 손의 각도 변화를 분석할 수 있는 시스템을 구축한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

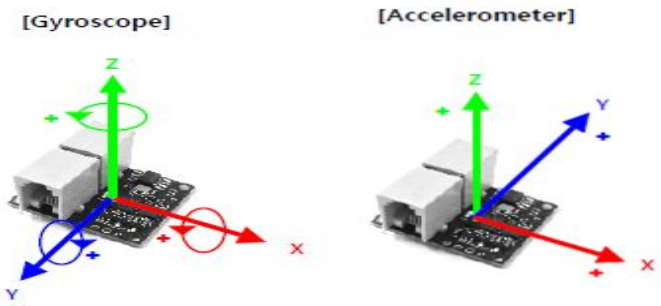


그림 43. IMU 관성 센서 출력 데이터

사용자의 손의 위치를 추적하기 위해서 9축 관성 센서를 사용자 손에 부착한 상태에서 스윙 모션을 진행하며 이때 손에 부착된 센서로부터 3축 가속도, 3축 자이로 값들을 저장한다. 그림 43은 3축 가속도, 3축 자이로의 방위를 나타낸다. 관성 센서를 통해 측정된 데이터들은 무선 통신을 통하여 PC에 송신한다. 이때 저장하는 센서 데이터의 샘플링 레이트 100sample/s이다.

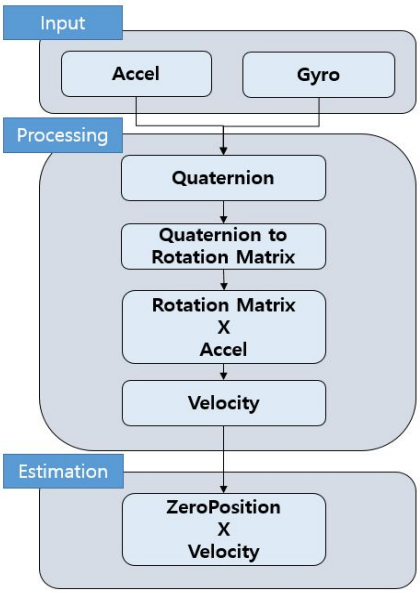


그림 44. 손의 위치 추정 알고리즘 순서도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

저장된 데이터는 위치 추적 알고리즘을 통해 손의 위치가 추적되며 순서도는 그림 44와 같다. 손의 움직임 추적을 위해서는 각속도와 가속도 데이터가 입력으로 필요하며 관성 센서의 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 추출이 가능하다. 3축 가속도 센서는 x, y, z축의 가속도 데이터를 구할 수 있으며 식 (20)과 같이 a_x, a_y, a_z로 표현할 수 있다.

$$^{s}a = [0\ a_x\ a_y\ a_z] \tag{20}$$

그림 45는 전체 골프 스윙의 가속도 데이터를 나타낸다.

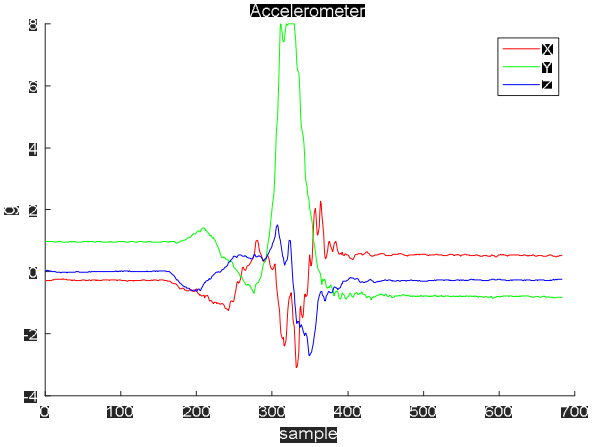


그림 45. 골프 스윙 동안의 가속도 데이터

3축 자이로 센서는 x, y, z축의 각속도 데이터를 구할 수 있으며 식 (21)과 같이 ω_x,ω_y, ω_z로 표현할 수 있다.

$$^{s}\omega = [0\ w_x\ w_y\ w_z] \tag{21}$$

그림 46은 전체 골프 스윙의 각속도 데이터를 나타낸다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

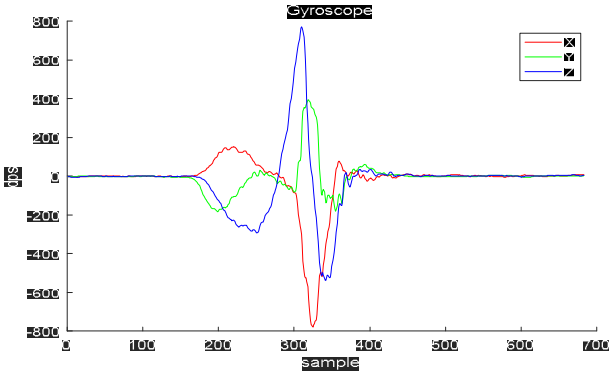


그림 46. 골프 스윙 동안의 각속도 데이터

센서를 통해 얻어 가속도와 각속도 데이터는 회전정보를 얻기 위한 쿼터니언을 만들기 위해 사용되며 초기 쿼터니언 데이터는 존재하지 않으므로 임의 초기 설정 값을 입력한다.

$$ {}^{S}_{E}\hat{q} = [q_1 \; q_2 \; q_3 \; q_4] \tag{22} $$

시간에 따라 변화하는 쿼터니언 정보를 얻기 위해서는 가속도 데이터를 이용하여 중력의 방향 정보를 얻어야 한다. 그러나 초기 입력되는 가속도 데이터는 불필요한 데이터와 많은 데이터가 포함되어 있기 때문에 정규화 작업이 필요하며 정규화 작업이 진행된 가속도 데이터는 다음과 같이 표현된다.

$$ {}^{S}\hat{a} = [0 \; a_x \; a_y \; a_z] \tag{23} $$

정규화된 가속도와 초기 쿼터니언 데이터를 이용하여 식 (24)에 대입하여 중력의 예상 움직임 방향을 추출한다.

$$ f_g({}^{S}_{E}\hat{q}, {}^{S}\hat{a}) = \begin{bmatrix} 2(q_2q_4 - q_1q_3) - a_x \\ 2(q_1q_2 + q_3q_4) - a_y \\ 2(\frac{1}{2} - q_2^2 - q_3^2) - a_z \end{bmatrix} \tag{24} $$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

출력된 중력 방향 데이터를 샘플링 주기 및 각속도에 곱함으로써 시간에 대한 각속도 변화량을 구한다.

$$^{S}\omega_t = {}^{S}\omega_{t-1} + f_g({}^{S}_{E}\hat{q}, {}^{S}\hat{a})\Delta t \tag{25}$$

식 (25)의 각속도와 초기 쿼터니언을 이용하여 시간에 따라 증가하는 값을 추정함으로써 변해가는 속도를 알 수 있는 쿼터니언의 발산 지수인 β를 출력한다.

$$\beta = \left\| \frac{1}{2}\hat{q} \otimes {}^{S}\omega_t \right\| \tag{26}$$

마지막으로 발산 지수인 β와 쿼터니언 q, 그리고 샘플링 주기 Δt를 곱하여 쿼터니언 정보를 추출한다.

$${}^{S}_{E}\dot{q} = \frac{1}{2} \times {}^{S}_{E}\hat{q} \otimes \beta \times \Delta t \tag{27}$$

위치 추적을 위해서는 쿼터니언 정보 및 속도 정보가 필요하며 추출된 쿼터니언 데이터는 바로 연산이 불가능하기 때문에 식 (28)과 같이 회전 매트릭스로 변환 후 연산을 해야 한다.

$${}^{A}_{B}R = \begin{bmatrix} 2q_0^2 - 1 + 2q_1^2 & 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2q_0^2 - 1 + 2q_2^2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & 2q_0^2 - 1 + 2q_3^2) \end{bmatrix} \tag{28}$$

속도를 계산하기 위해서는 식 (29)와 같이 쿼터니언의 회전 매트릭스와 가속도 데이터의 역행렬을 곱하여 가속도 데이터의 기울기 오차 보상을 계산하고 이를 식 (30)을 이용하여 속도 V_t를 구한다.

$${}^{S}_{E}\hat{a} = {}^{A}_{B}R \otimes {}^{S}\hat{a}' \tag{29}$$

$$V_t = {}^{S}_{E}\hat{a}_t - {}^{S}_{E}\hat{a}_{t-1} \tag{30}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 47은 식 (30)을 통하여 출력된 각 축에 대한 속도 데이터로 노이즈로 인해 오차가 누적되어 드리프트 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

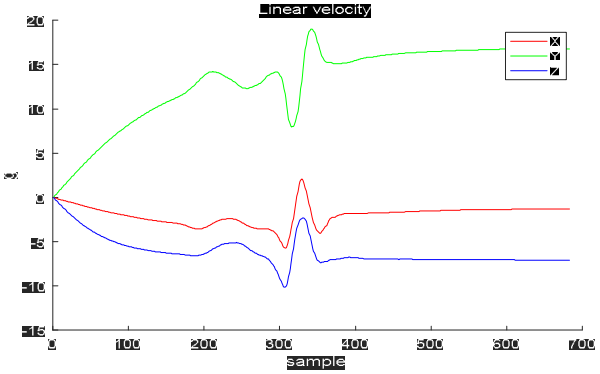


그림 47. 속도 데이터

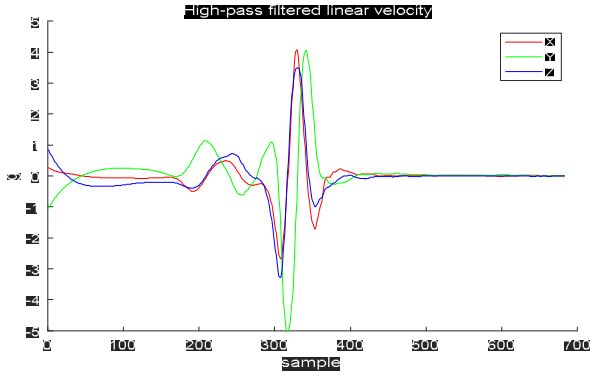


그림 48. 하이패스 필터를 사용한 속도 데이터

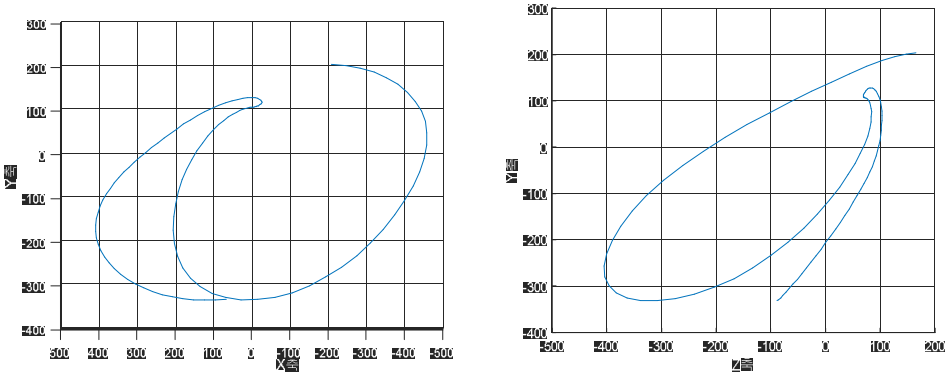
출력된 속도 데이터의 드리프트 현상을 줄이기 위해 하이패스 필터를 통해 오류를 줄이고 초기 설정된 위치 좌표에 식 (31)과 같이 계산하여 손의 위치를 추적한다.

$$ {}^{S}P_t = {}^{S}P_{inital} + V_t \times \triangle t \tag{31} $$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위치 추적 알고리즘을 사용하여 골프 스윙 시 손을 궤도를 추적한 결과는 그림 49와 같다. 그림 42의 낮은 프레임으로 인해 적은 데이터 취득과 정확하지 않는 손의 추적 결과의 키넥트 V2와 달리 실제 사용자의 움직임을 자연스럽고 정확하게 표현된 것을 확인할 수 있다.



(a) x-y 평면 (b) y-z 평면

그림 49. 손의 궤도 추정 결과

추적된 손의 궤도는 3차원 그래프로 표현되며 사용자가 직관적으로 자신의 스윙의 비교 분석이 가능하다는 장점이 있다. 제안한 분석 요인 중 다른 하나인 스윙 템포는 골프 스윙 중 중요한 요소 중 하나로 골퍼의 스윙 템포가 일정하지 않으면 스윙 리듬이 깨지게 되고 결국 스윙의 실수가 나타나므로 매우 중요한 요인 중 하나이다. 스윙 템포를 구하기 위해서는 스윙 구간을 분류하는 작업이 필요하다. 구간 분류는 백스윙, 탑 오브 스윙, 임펙트 까지의 구간 분류가 필요하며 스윙 템포는 어드레스부터 탑오브 스윙까지의 스윙 속도와 탑 오브 스윙에서 공을 치는 순간인 임팩트 순간까지의 스윙 속도를 이용한다. 구간 분류를 위해서 관성 센서의 가속도 정보를 이용한다. 관성 센서의 가속도 정보의 데이터를 구간 분류에 사용하기 위해 식 (32)를 이용하여 SVM을 구한다. SVM은 Signal Vector Magnitude로 3축 가속도 센서 출력 값을 하나의 대푯값으로 처리하기 위해 에너지로 변환한다.

$$E = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \tag{32}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

골프 스윙 시 가속도 정보를 식을 이용하여 에너지 E로 변환하면 그림 50과 같다. 어드레스 자세에서 1에 가까운 값을 유지하다 백스윙 시 값이 증가하게 된다. 백스윙을 지나 탑오브스윙에 도달하게 되면 움직임이 거의 없기 때문에 다시 0에 가까운 값을 가지게 되며 임팩트 순간에 가장 큰 값을 가지게 된다. 마지막으로 임팩트를 지나 다시 피니쉬 구간에 접어들면 다시 1의 가까운 값을 갖게 된다.

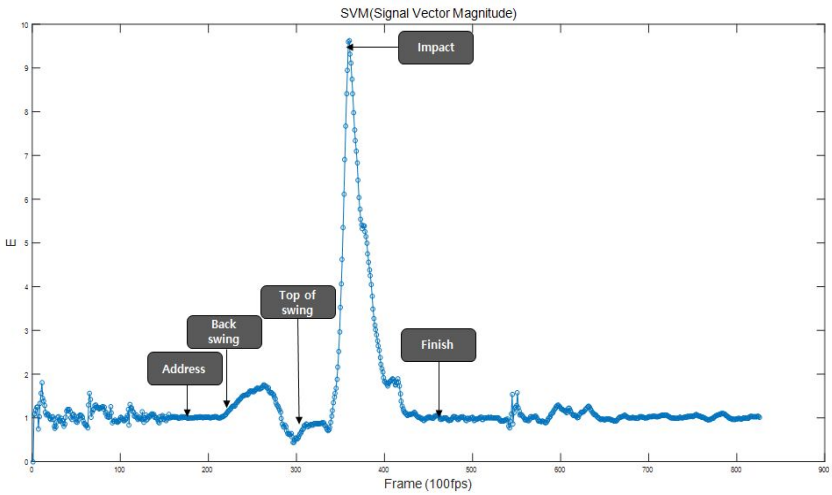


그림 50. 골프 스윙 동안의 SVM 결과

이러한 특징을 이용하여 각 구간을 분류하며, 분류된 구간 중 백스윙 시작지점과 탑오브스윙 지점 그리고 임팩트 지점을 이용하여 스윙 템포를 구한다. 스윙 템포 백스윙 시작지점에서 탑오브스윙 지점의 프레임과 탑오브스윙에서 임팩트 순간인 다운스윙 동안의 프레임 개수를 이용하였으며, 국가대표 및 상비군 경력의 남자 골퍼의 경우 백스윙에서 탑오브스윙까지 평균 1.01초가 걸리며 탑오브스윙에서 임팩트까지 0.31초의 속도가 나타난다고 한다[47]. 본 논문에서는 스윙 템포를 나타나기 위해 백스윙부터 탑오브스윙과 탑오브스윙에서 임팩트까지의 걸린 시간을 비율로 나타냈으며 식 (33)과 같다. 이상적인 스윙 템포는 3:1의 비율로 세계적인 플레이어일수록 가깝게 스윙을 나타낸다.

$$SwingTempo = (\frac{BS_{frame}}{DS_{frame}}) : (\frac{DS_{frame}}{DS_{frame}}) \quad (33)$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

손의 각도는 쿼터니언 데이터를 3차원 공간 좌표계의 회전 데이터인 오일러 각으로 변환함으로써 각도 데이터를 추출하여 스윙 동안 손의 각도 변화에 대해 분석이 가능하다. 쿼터니언을 오일러 각으로 변환하는 식은 식 (34)와 같다.

$$\begin{aligned}\phi &= atan2(2(q2q3 - q0q1), 2q_0^2 - 1 + 2q_3^2)\\ \theta &= -\arctan\left(\frac{2(q_1q_3 + q_0q_2)}{\sqrt{1-(2q_1q_3 + 2q_0q_2)^2}}\right)\\ \psi &= atan2(2(q_1q_2 - q_0q_3), 2q_0^2 - 1 + 2q_1^2)\end{aligned} \tag{34}$$

회전순서는 ZYX 순으로 ϕ은 오일러 각 중에서 Yaw 축 회전을 의미하며 θ는 Pitch, ψ는 Roll 축 회전를 가리킨다. 식 (34)을 통해 추출된 골프 스윙 동안의 손의 각도는 그림 51, 52와 같다. 그림 49은 일반적인 골프 스윙 시 나타나는 손의 회전 각도 데이터로 골프 스윙 중에 잘못된 손의 움직임이 있을 경우 그림 51과 같이 나타난다. 그림 52는 탑오브스윙에서 손의 각도가 틀어진 경우로 그림 51의 탑오브스윙과 비교 분석했을 경우 Roll 축의 회전이 크게 일어난 모습을 볼 수 있다.

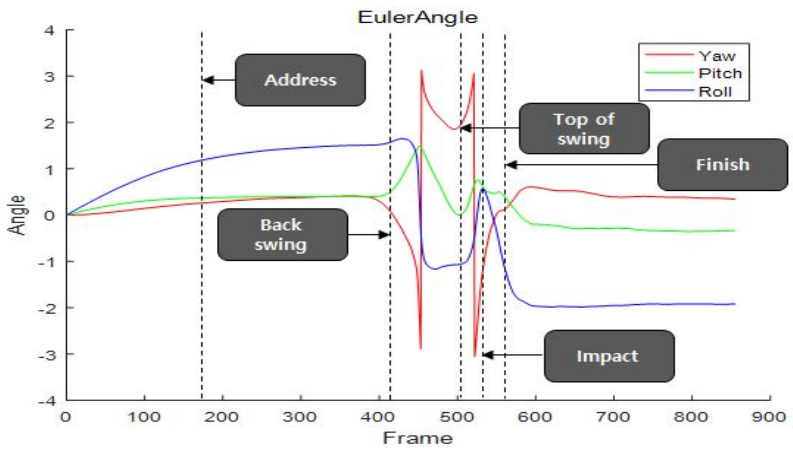


그림 51. 올바른 골프 스윙의 손의 각도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

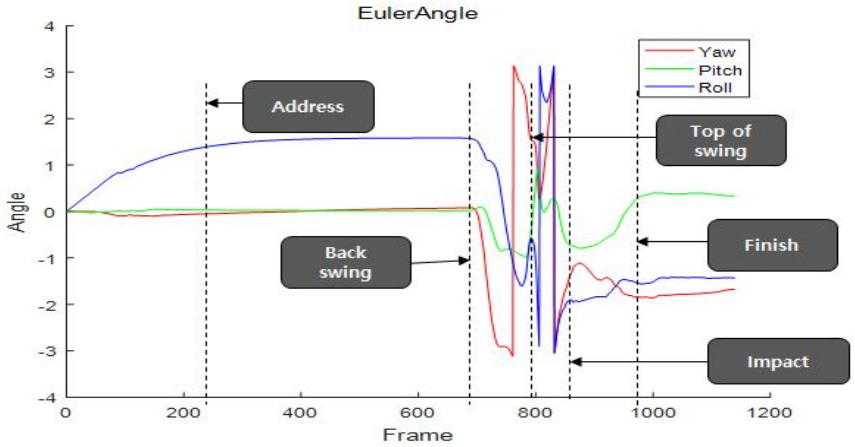


그림 52. 잘못된 골프 스윙의 손의 각도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5장 실험 결과

그림 53은 제안한 시스템의 골프 스윙 분석 프로그램이다. 제안한 골프 스윙 분석 시스템은 두 대의 카메라와 관성 센서 데이터를 입력할 수 있는 입력부와 입력된 데이터를 바탕으로 골프 샤프트 헤드 궤적, 손의 움직임, 발의 스탠스 및 스윙 템포가 분석된 결과를 나타내는 3개의 출력부로 구성된다. 본 장에서는 구축된 골프 스윙 분석 시스템을 이용하여 프로 1명, 중급자 1명, 입문자 6명으로 총 8명의 피험자에 대한 스윙 분석 결과를 나타낸다.

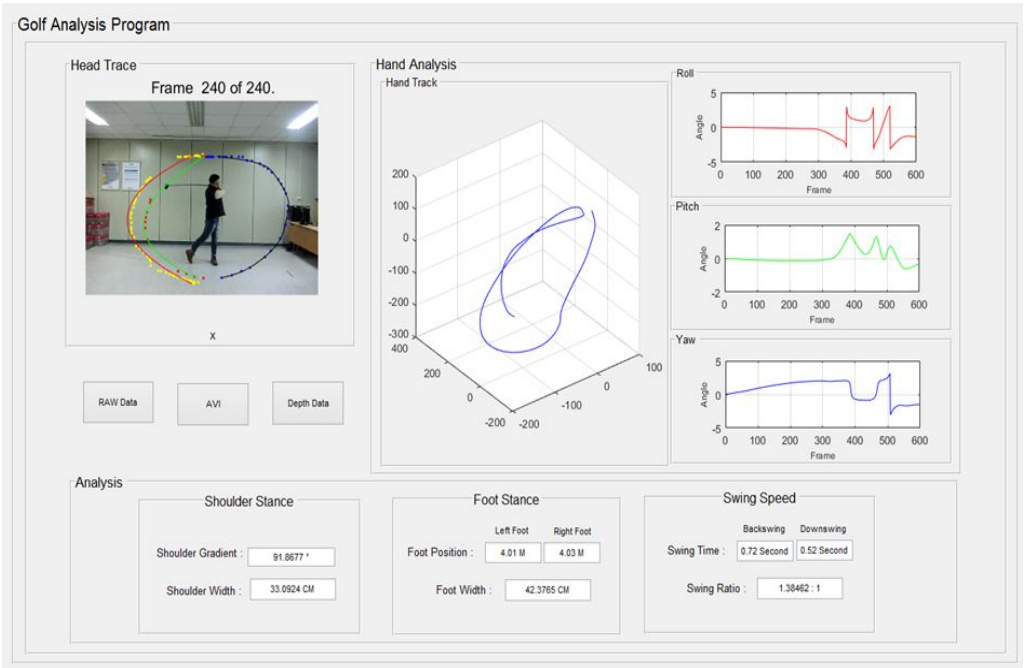


그림 53. 제안한 골프 스윙 분석 프로그램

그림 54는 고프레임 카메라를 이용하여 추출된 골프채 헤드의 궤도이다. 왼쪽 상단부터 시계방향으로 프로부터 입문자6까지를 나타내며 서로 다른 크기, 형태의 골프 헤드 궤도를 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

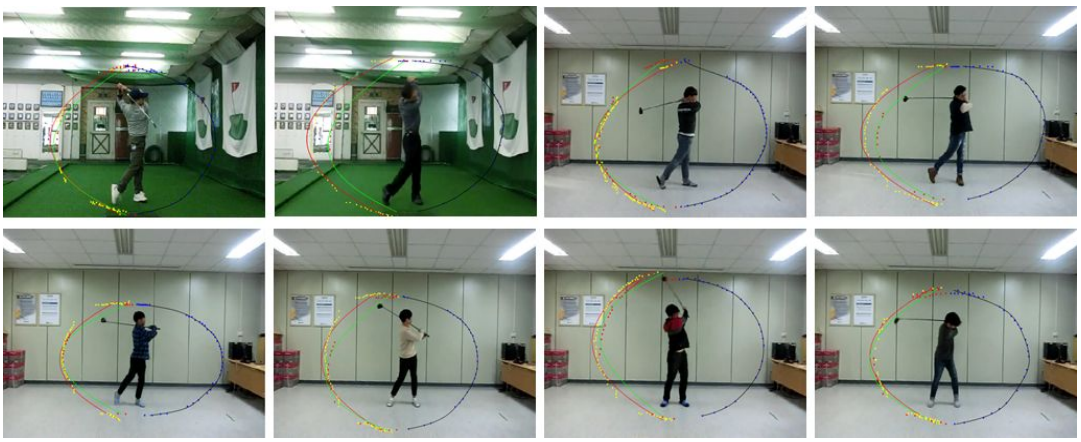


그림 54. 커브 피팅을 통한 피험자의 골프 헤드 궤도 추적

빨간색 선은 어드레스부터 탑오브스윙까지의 골프채 헤드 이동을 나타내며, 녹색 선은 탑오브스윙에서 임팩트까지의 골프채 헤드 이동을 나타낸다. 마지막으로 파란색 선은 임팩트부터 피니쉬까지의 골프채 헤드 이동을 나타낸다. 고프레임 카메라를 이용한 골프채 헤드 추적 결과 피험자들의 실제 골프채 헤드 이동과 유사한 추적 결과를 확인할 수 있다.

표 7. 피험자들의 어깨 기울기와 발의 스탠스 상태

실험	기울기(°)	양발의 너비(CM)	어깨 너비(CM)	발의 위치(M)	
				왼발	오른발
프로	80.86	36.32	33.06	4.36	4.34
중급자	82.32	34.21	32.50	4.35	4.34
입문자1	90.86	43.37	33.35	4.08	4.08
입문자2	88.78	46.33	33.19	4.01	4.02
입문자3	92.28	40.20	33.62	4.12	4.13
입문자4	90.73	43.15	35.40	4.04	4.06
입문자5	91.19	42.10	33.41	4.04	4.04
입문자6	89.61	40.76	33.79	4.05	4.05

표 7은 10회의 골프 스윙 동안 피험자들의 어드레스 자세에서의 어깨 기울기와 발의 스탠스 상태의 평균을 나타낸다. 어드레스 자세 동안에 대부분의 피험자들이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

어깨 너비보다 양발의 너비를 넓게 유지하였으나, 프로와 중급자의 경우 오차 범위가 입문자들에 비해 낮은 결과를 나타낸다. 어깨 기울기는 프로와 중급자의 경우 10도 정도 기울어진 상태에서 스윙을 진행하였으나, 입문자들의 경우 어깨 기울기가 90도에서 크게 벗어나지 않아 잘못된 자세로 스윙을 진행한 것을 확인할 수 있다.

그림 55~62는 골프 스윙 동안 피험자들의 왼손의 움직임으로 손의 궤도와 손의 각도 움직임을 나타낸다. 그림을 통해 손의 움직임이 어떠한 궤도를 그리며 움직였는지 직관적으로 확인할 수 있으며, 그뿐만 아니라 손의 각도 변화에 대해 확인할 수 있어 잘못된 움직임을 파악할 수 있다.

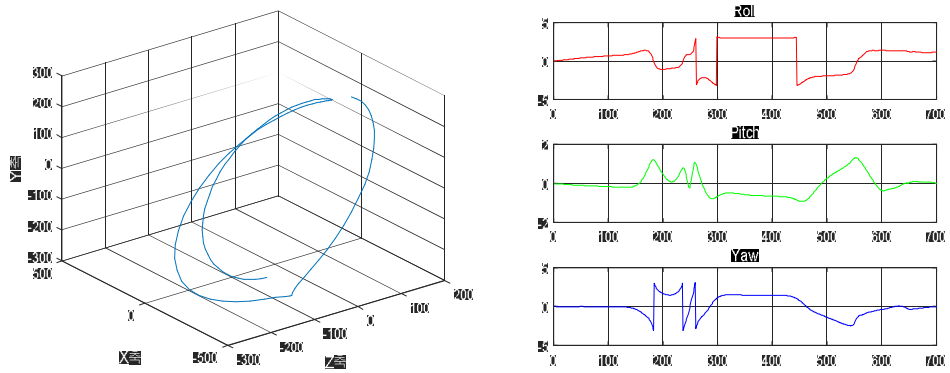


그림 55. 프로의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

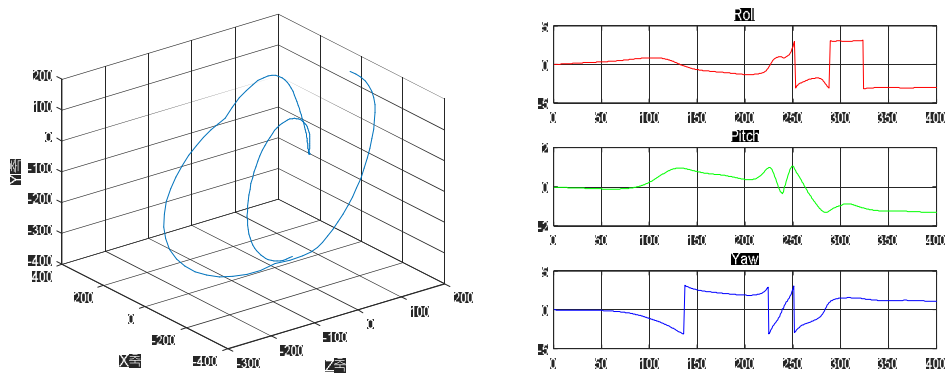


그림 56. 중급자의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

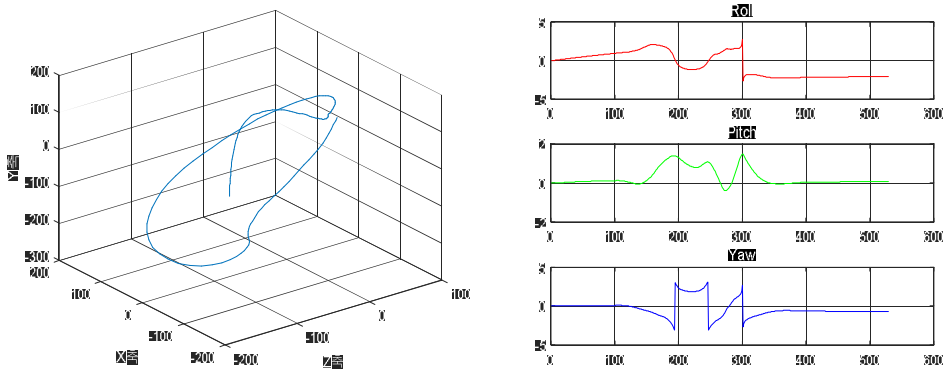


그림 57. 입문자1의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

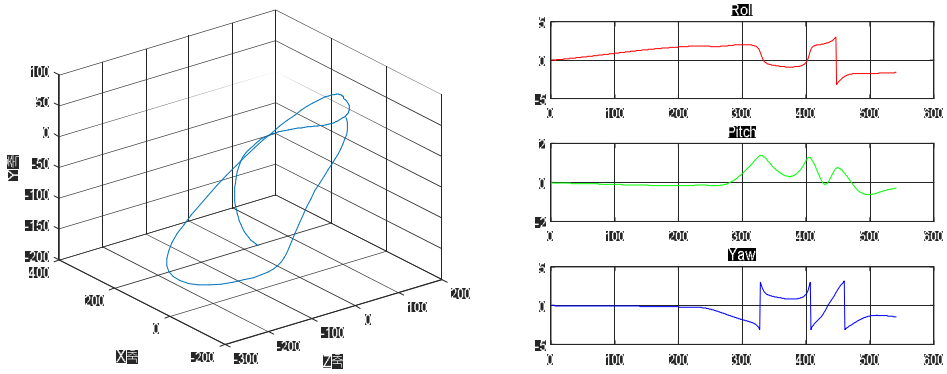


그림 58. 입문자2의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

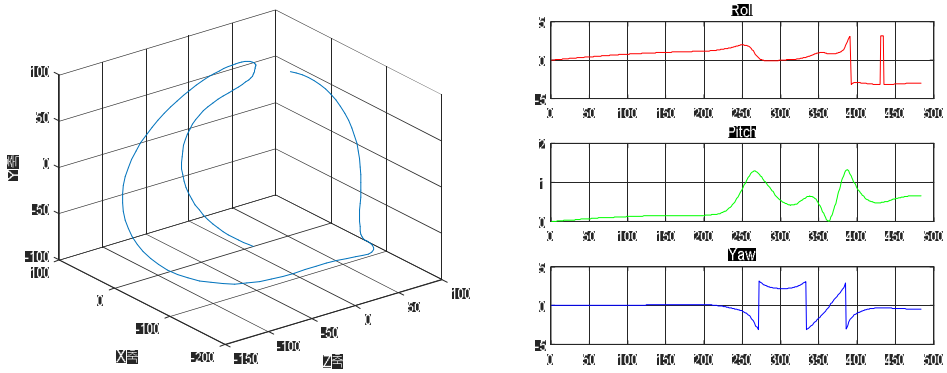


그림 59.입문자3의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

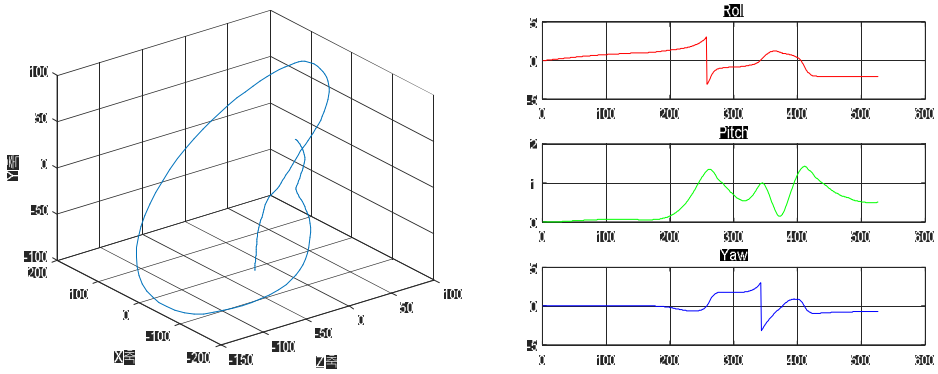


그림 60. 입문자4의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

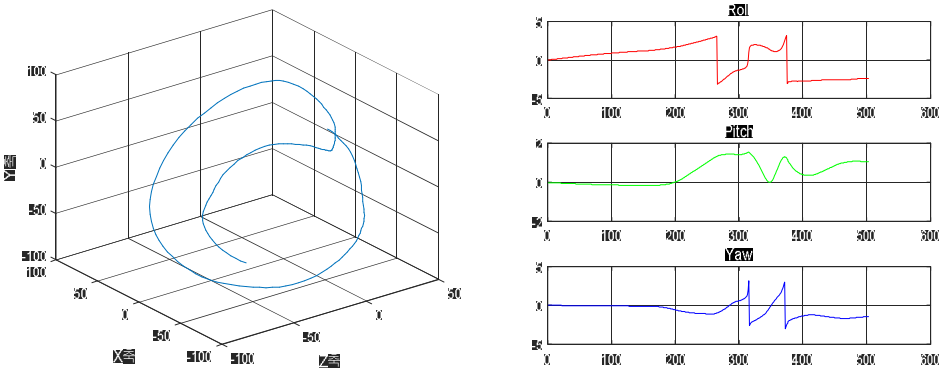


그림 61. 입문자5의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

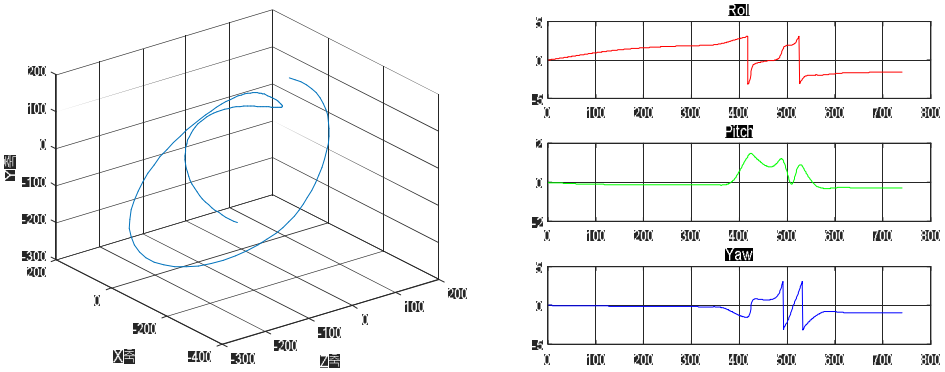


그림 62. 입문자6의 골프 스윙 중 손의 움직임 (손의 궤도, 손의 각도)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 8은 10회의 골프 스윙 동안 피험자들의 골프 스윙 템포 평균을 나타낸다. 백스윙은 어드레스에서 탑오브스윙까지를 나타내며 다운스윙은 탑오브스윙에서 임팩트까지의 순간을 나타낸다. 최적의 스윙 템포는 3:1이며 프로의 경우 백스윙은 평균 1.04초, 다운스윙은 평균 0.32초를 나타낸다[47]. 실험 결과 프로와 중급자의 경우 최적의 스윙 템포인 3:1을 나타냈으며, 대부분 입문자들의 경우에는 백스윙 유지 시간이 짧으며, 반대로 다운스윙의 경우 프로 보다 느린 결과를 확인할 수 있다.

표 8. 피험자들의 스윙 템포

실험	시간 (초)		스윙 템포
	백스윙	다운스윙	
프로	0.88	0.29	3.0 : 1
중급자	1.10	0.35	3.0 : 1
입문자1	0.64	0.55	1.1 : 1
입문자2	0.65	0.53	1.2 : 1
입문자3	0.75	0.4	1.8 : 1
입문자4	0.83	0.37	2.2 : 1
입문자5	0.77	0.37	2.0 : 1
입문자6	0.73	0.39	1.8 : 1

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

6장 결론

사용자의 골프 스윙 능력향상 및 분석을 할 수 있는 다양한 모션 취득 장비와 상용화된 제품이 존재한다. 그러나 기존의 모션 취득 시스템의 카메라를 이용한 모션 취득 방법에는 환경에 민감하고, 센서를 이용한 방법보다 데이터의 정확성이 떨어진다는 문제점이 있다. 센서를 이용한 방법들은 주로 사용자의 몸에 다수의 센서를 부착하여 데이터를 분석하여 사용자들로부터 불편함과 움직임의 제한을 주는 문제가 있었다. 또한, 상용화된 제품들 중 2차원 분석 시스템의 경우 수동적으로 자세를 분석해야 되는 단점이 있었으며, 3차원 분석 시스템의 경우 골프 샤프트의 움직임을 분석하거나 상체의 움직임을 분석하는 등 둘 중 하나만의 분석이 가능한 제한된 시스템이 구축되어 있다.

본 논문에서는 기존의 모션 취득 장비와 상용화된 제품의 단점을 보완하기 위해 다중 카메라와 관성 센서를 동시에 이용한 골프 스윙 분석 방법을 제안하였다. 골프 스윙 분석에 사용된 키넥트 V2 카메라는 사용자의 자세 분석을 하기 위한 데이터를 취득하며 고프레임 카메라는 골프 샤프트 헤드 궤적 추적을 위한 데이터를 취득하였다. 또한, 관성 센서는 손의 움직임을 추적하기 위한 데이터를 취득하여 다수의 센서를 사용하지 않고 자세 분석을 진행하며, 골프 샤프트 헤드 궤적뿐만 아니라 손의 움직임까지 분석이 가능한 시스템을 구축하였다.

제안한 시스템은 사용자 정면에 키넥트 V2와 고프레임 카메라를 배치하고 왼손에는 한 개의 센서를 부착하여 골프 스윙 데이터를 동시에 취득하였다. 키넥트 V2를 통해 취득된 관절 데이터를 이용하여 어드레스 자세에서 유지해야 할 어깨 기울기 및 발의 스탠스를 추출하였으며, 고프레임 카메라를 통해 취득된 120 프레임 영상을 이용하여 골프 샤프트 헤드를 추적하여 표현하였다. 마지막으로 관성 센서를 통해 취득된 가속도와 자이로 데이터는 골프 스윙 동안에 손의 움직임을 추적하였으며, 손의 궤도와 각도 및 스윙 템포를 나타냈다.

제안한 시스템의 정확성을 확인하기 위해 광학식 장비 및 실제 측정을 통해 어깨 기울기 및 발의 스탠스의 정확성을 확인하였고 최소 1.0%에서 최대 6.64%로 실제와 거의 유사함을 확인하였다. 또한, 제안한 골프 스윙 분석 시스템을 통해 다양한 피험자들을 분석하였다. 어깨 기울기의 경우 프로와 중급자의 경우 오른쪽으로 약 10도 정도 기울어진 80도를 유지하나 입문자들의 경우 평균 90.57도를 유지

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하였다. 발의 스탠스의 경우는 어깨 너비보다 발의 너비가 넓게 위치한 결과를 나타냈으며 손의 움직임인 손의 궤도와 각도, 그리고 골프 샤프트 헤드 추적은 피험자들이 직관적으로 보고 분석할 수 있도록 표현하였다. 스윙 템포는 프로의 경우 백스윙은 평균 0.88초, 다운스윙은 평균 0.29초를 나타냈으며 중급자의 경우 백스윙은 평균 1.10초, 다운스윙은 평균 0.35초의 결과를 나타냄으로써 프로와 중급자 모두 최적의 스윙 템포인 3:1의 비율을 나타냈다. 초급자들의 경우에는 평균 0.72초, 다운스윙의 경우 평균 0.43초를 나타내었으며 이는 백스윙 0.88초를 나타내는 프로보다 0.16초 빠르게 스윙을 진행하였으며, 다운스윙 0.29초를 나타내는 프로보다 0.14초 늦은 스윙을 진행하였다. 실험 결과 제안한 골프 분석 시스템을 통해 골퍼의 자세 분석 및 손의 움직임 분석뿐만 아니라, 골프채 헤드의 움직임까지 추적이 가능함으로써 골프 스윙에 대한 다양한 분석이 가능함을 확인하였다.

향후에는 대상자를 늘려 보다 많은 실험을 진행할 것이며 다양한 분석 항목과 알고리즘을 보완할 예정이다. 또한, 키넥트 V2를 이용한 실제 측정기준 부위와 영상에서 인식한 관절의 기준점이 다르게 나타나거나, 인체의 미세한 떨림에 따라 오차가 발생하는 문제가 있다. 이러한 오차를 줄여 정확성을 높이는 작업을 진행할 것이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] 이종훈, “골프 선수의 스윙 동작에 대한 운동 역학적 분석,” 한국학교체육학회, vol. 10, pp. 87-96, 2000.

[2] 김광균, “남자 프로 골퍼들의 클럽 유형별 스윙동작에 대한 운동학적 및 운동역학적 분석,” 군산대학교 대학원, 박사학위논문, 2011.

[3] 한국골프장경영협회, 2014.

[4] 유충경, 박범영, 최영철, “호흡패턴 훈련이 골프 선수의 불안과 수행력에 미치는 영향,” 한국체육과학회지, vol. 23, no. 6, pp. 545-555, 2014.

[5] 강석범, “컴퓨터 골프 스윙분석 프로그램의 소비자특성에 따른 만족요인차이분석,” 호서대학교 벤처전문대학원, 석사학위논문, 2004.

[6] 문병일, “골프 스윙동작의 운동역학적 특성에 관한 분석,” 조선대학교 대학원, 박사학위논문, 2004.

[7] 전철우, “아마추어 골퍼들의 스윙 오류에 관한 연구,” 연세대학교 대학원, 석사학위논문, 2006.

[8] 서재문, “골프 스윙 분석프로그램 개발,” 연세대학교 대학원, 석사학위논문, 2011.

[9] 김병기, “단일 카메라 영상으로부터 골프 스윙의 자동 분석,” 한국산업정보학회논문지, vol 14, no 6, pp. 139-148, 2009.

[10] 최태준, 유석호, 이동열, 이완복, “광학식 모션 캡쳐 방식을 이용한 디지털 캐릭터 움직임,” 한국콘텐츠학회 논문지, vol. 7, no 8, pp. 109-116, 2007.

[11] 노일순, “3D motion sensor를 이용한 모션 캡쳐 기술 연구,” 한국인터넷방송통신학회 논문지, vol. 7, no. 6, pp. 45-52, 2007.

[12] Motion Analysis, Eagle System, http://motionanalysis.com/

[13] Vicon, Vicon System, http://www.vicon.com/

[14] 이재동, 이용환, “기계식 모션 캡처 시스템 및 응용”, 한국정보기술학회논문지, vol 7, no 1, pp. 31-38, 2009.

[15] Analogues, Gypsy, http://metamotion.com/gypsy/

[16] Motion Technologies, Xtra, http://www.motioncapture.co.kr/km/history

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[17] A. Menache, Understandin Motion Capture for Computer Animation and Video Games, Morgan Kafmann Publishers Inc, San Francisco, CA, 1999.

[18] Polhemus, Liverty, http://www.polhemus.com/

[19] Ascension, Motion Sar Wireless, http://www.ascension-tech.com/

[20] 김범준, 박수경, "지면반력 분석을 통한 골프 초보자의 스윙자세 교정 요소 도출," 한국정밀공학회 논문집, pp. 688-689, 2014.

[21] AMTI, Force Plates System, http://amti.biz/

[22] BERTEC, Force Plates System, http://bertec.com/products/force-plates

[23] N. Gehrig, V. Lepetit, and P. Fua, "Visual golf club tracking for enhanced swing analysis," British Machine Vision Conference, 2003.

[24] P. Chotimanus, N. Cooharojananone, and S. Phimoltares, "Real swing extraction for video indexing in golf practice video," Computing Communications and Applications Conference, pp. 420-425, 2012.

[25] I. Karliga, J. N. Hwang, "Extraction and integration of human body parts for 3-D motion analysis of golf swing from single-camera video sequence," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 3960-3963, 2007.

[26] F. K. Sim and K. Sundaraj, "Human motion tracking on broadcast golf swing video using optical flow and template matching," Computer Applications and Industrial Electronics, pp. 169-173, 2010.

[27] L. Zhang, J. C. Heiseh, T. T. Ting, C.Y. Huang, C. Y. Ho and K. L. Ku, "A kinect based golf swing score and grade system using GMM and SVM," Image and Signal Processing, pp. 711-715, 2012.

[28] K. Kumada, Y. Usui and T. Kondo, "Golf swing tracking and evaluation using kinect sensor and particle filter," Intelligent Signal Processing and Communications Systems, pp. 698-703, 2013.

[29] V1 Sports, V1 Pro, https://www.v1sports.com/coaches-instructors/v1-pro/-V1pro/

[30] Sporam Korea, Sporam, http://www.sporam.com/-Sporam/

[31] C. Y. Huang, T. L. Chen, C. B. Chiu, W.C. Yi, W. C. Lin, J. Y. Yeh, and C. L. Kuo, "Calculate golf swing trajectories from imu sensing

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

data," International Conference on Parallel Processing Workshops, pp. 505-513, 2012.

[32] H. Negoro, M. Ueda, K. Watanabe, K. Kobayashi, Y. Kurihara, "Measurement and analysis of golf swing using 3D acceleration and gyroscopic sensors," SICE Annual Conference, pp. 1111-1114, 2011.

[33] N. Reintrakulchai and W. Kimpan, "The design of golf swing pattern analysis from motion sensors," Computer Science and Engineering Conference, pp. 222-227, 2014.

[34] T. Mitsui, S. Tang and S. Obana, "Support system for improving golf swing by using wearable sensors," Mobile Computing and Ubiquitous Networking, pp. 100-101, 2015.

[35] Epson, M-tracer, http://www.m-tracer.co.kr/EPSON_TRACER/

[36] K-motion Interactive, K-vest, https://www.k-vest.com/k-vest/

[37] N. C. Nam, J. H. Kang and S. Y. Suh, "Golf swing motion tracking using inertial sensors and a stereo camera," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 63, no. 4, pp. 943-952, 2014.

[38] S. Y. Huang, P. K. Kuo and H. Y. Lin, "A golf swing analysis system using wii balance board and kinect sesnsors for novice players," Multimedia Tools and Applications, vol. 74, no. 23, pp. 10679-10696, 2015.

[39] Swing Catalyst, Swing Catalyst, http://ko.swingcatalyst.com/-swingcatalyst/

[40] 서재문, 이해동, 이성철, "동작분석 시스템을 이용한 골프 스윙 분석 기초 알고리즘 개발," 한국운동역학회지, vol 21, no. 1, pp. 85-95, 2011.

[41] 심창섭, "사무직 근로자의 골프 대중화 인식도 조사," 한국학교체육학회지, vol. 12, no. 1, pp. 113-120, 2002.

[42] TPI, http://www.mytpi.com/improve-my-game/swing-characteristic

[43] 최민철, 이창진, 임영태, "체형에 따른 골프 어드레스 동작의 주요 관절 각도 비교," 한국운동역학회지, vol 20, no 4, pp. 437-445, 2010.

[44] Mircrosoft, Kinect V2, http://www.mytpi.com/improve-my-game/swing-ch

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

aracteristic/

[45] E2box, EBmotionW, http://www.e2box.co.kr/

[46] Casio, FC500S, http://casio.jp/dc/products/ex_fc500s/-FC500S/

[47] 박성진, “엘리트 남, 여 대학골프선수의 클럽별 스윙 템포와 헤드스피드 분석 연구,” 한국체육과학회지, vol 17, no. 1, pp. 755-765, 2008.

[45] E2box, EBmotionW, http://www.e2box.co.kr/

[46] Casio, FC500S, http://casio.jp/dc/products/ex_fc500s/-FC500S/

[47] 박성진, “엘리트 남, 여 대학골프선수의 클럽별 스윙 템포와 헤드스피드 분석 연구,” 한국체육과학회지, vol 17, no. 1, pp. 755-765, 2008.

Collection @ chosun