

스포츠 아케이드 게임 시뮬레이션 기술

Simulation Technology for Sports Arcade Games

백성민 (S.M. Baek) 디지털액터연구팀 선임연구원
 김종성 (J.S. Kim) 디지털액터연구팀 선임연구원
 김명규 (M. Kim) 디지털액터연구팀 책임연구원

목 차

-
- I. 서론
 - II. 스포츠 게임 기술
 - III. 회전체 인식 기술
 - IV. 회전체 시뮬레이션 기술
 - V. 결론

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2010년도 콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음 [과제명: 스포츠 아케이드 게임을 위한 회전체인식 기술, 과제고유번호: 21076020031074100003]

세계 아케이드 게임 시장은 전체 게임 산업에서 높은 비중을 차지하고 있으나 그에 비해 국내 시장이 차지하는 비율은 매우 작다. 따라서 국내 아케이드 게임 산업을 활성화시키기 위한 방안으로 최근 각광받고 있는 체감형 스포츠 게임을 주목할 필요가 있다. 그러나 체감형 스포츠 게임 제작에서 단순히 비주얼 효과 및 재미 요소만으로는 새로운 시장에서의 경쟁력이 부족하며, 이를 극복하기 위한 방법으로 사실감 있는 시뮬레이터로 발전하기 위한 기술들이 필요하다. 본 논문에서는 실감 및 체감형 스포츠 게임을 개발하기 위한 핵심 기술들의 동향을 분석하고자 한다.

I. 서론

미국과 일본이 주도하고 있는 세계 아케이드 게임 시장 규모는 2008년 약 350억 달러로 온라인 게임 규모의 3배에 이르고 있다. 그러나, 세계 시장에서 34%의 점유율을 보이고 있는 온라인 게임에 비해 국내 아케이드 게임 산업은 바다 이야기 사태 이후 부정적 인식과 각종 규제로 인해 침체기를 겪고 있으며 세계 시장 점유율도 0.6%에 불과하다. 이와 달리 후발 주자인 중국 아케이드 게임 산업은 2009년 아케이드 게임장 설립을 허가하는 등 10.5%의 성장률을 기록하고 있는 추세로서, 앞선 기술과의 격차는 점차 벌어지는 반면 후발 주자와의 차이는 점차 줄고 있는 상황이다.

아케이드 게임 중에서도 스포츠 게임은 게임 전체에서 11%의 비중을 차지하고 있으며, 아케이드 게임 부분에서는 15.2%에 이를 만큼 높은 시장성을 가지고 있다. 따라서 국내 아케이드 산업을 활성화 시키기 위해서는 인식 전환 및 건전한 엔터테인먼트 육성이 필요하며, 이를 위해 야구, 축구, 테니스, 골프 등 스포츠 시뮬레이션 게임으로 눈을 돌릴 필요가 있다. 그러나 시뮬레이션 특성상 재미 요소뿐만 아니라 사실감을 추가하기 위한 기술 개발이 요구된다.

본 논문에서는 스포츠 아케이드 게임을 위한 인식 및 시뮬레이션 기술들에 대한 동향을 분석하고자 한다.

II. 스포츠 게임 기술

1. 3차원 체감형 스포츠 게임

체감형 스포츠 시뮬레이션 게임 분야의 선두 주자인 캐나다의 Visual Sports사는[1] 매초 2,000장의

사진을 분석하여 어떠한 물체라도 정확한 궤적, 방향 및 속도를 계산할 수 있는 4개의 고속 비전 카메라 기술 및 광학식 위치 추적 기술을 기반으로 골프, 야구, 하키, 축구, 농구 등 다양한 스포츠 게임 시뮬레이터를 개발하고 있다(그림 1) 참조).



(그림 1) Visual Sports사의 스포츠 시뮬레이터

스크린 시뮬레이터 기술 중 가상 헬스 게임을 개발하고 있는 Traq3D는[2] 가상 환경 속에 등장하는 캐릭터를 따라 움직이면서 운동을 즐기는 형태의 3차원 시뮬레이터를 출시하여 e-스포츠 분야에서 각광받고 있다(그림 2) 참조).



(그림 2) Traq3D사의 3차원 시뮬레이터

시뮬레이션 운동기구인 '자빅스(XaviX)'는[3] TV 모니터에 연결해서 각종 스포츠를 즐길 수 있는 피트니스 프로그램으로써 실내에서 골프, 테니스, 야구, 복싱, 볼링 등 다양한 스포츠 게임을 제공한다. 파나소닉사의 승마 운동기구인 '조바 피트니스'는[4] 야외에서 말을 타는 효과를 통해 운동이 가능한 가정용 시뮬레이터이다(그림 3) 참조).



(그림 3) 자빅스(좌)와 조바 피트니스(우)

국내 스포츠 아케이드 게임 콘텐츠로는 디게이트에서 개발한 카드 인식 3D 아케이드 게임인 공룡왕, 게임 속 캐릭터와 탁구를 치는 체감형 탁구 게임기 액션 핑퐁 등이 있다(그림 4a, b 참조). 아이알로봇에서는 로봇을 조종하여 축구를 즐길 수 있는 로봇 스포츠 아케이드 게임기 배틀 로봇 축구 게임기와 2인용 로봇 FC를 개발한 바 있다(그림 4c 참조). 라센에서 개발한 FPS 체감형 밀리터리 게임기인 발칸 엠은 초대형 스크린, 5.1 채널 사운드, 격발 효과, 진동 발판 등으로 사실감을 제공하고 있으며(그림 4d 참조), 이후 3D 입체화면, 헤드 트래킹, 모션 제어 기술 및 고품질 비주얼 콘텐츠 개발에 박차를 가하고 있다.



2. 골프 시뮬레이션 게임

2005년 200여 곳에 불과했던 국내 골프 시뮬레이션 게임장은 2010년 7,000여 곳을 넘었고 방문자 수도 137만 명으로 집계되고 있으며, 국내 업체의 해외 시장 점유율도 65%를 넘어선 것으로 조사될 만큼 급 성장하고 있는 추세이다. 골프 시뮬레이션 게임은 골프공의 고속 회전 및 이동을 정확하게 인식한 후 이를 시뮬레이션 해야 하는 만큼 높은 수준의 기술을

필요로 하고 있다.

미국 AboutGolf사는[5] 자사에서 개발한 3Trak 시스템을 이용하여 골프 아케이드 게임용 PGA 투어 시뮬레이터를 개발 및 공급하고 있다. PGA 투어 시뮬레이터는 골프공의 궤적과 회전을 측정할 수 있어 정확한 시뮬레이션이 가능하고, 50여 곳 이상의 실제 골프 코스에 대한 정밀한 3차원 모델을 제공하고 있으며, 2009년 미국 PGA 투어 공식 스크린 골프 시뮬레이터로 선정된 바 있다(그림 5 참조).



(그림 5) AboutGolf사의 PGA 투어 시뮬레이터

미국의 Focaltron사는[6] 레이저 방식인 Golf-Achiever 시스템을 이용하여 GA Sim이라는 골프 시뮬레이터를 출시하였다. GA Sim 역시 코스 패키지를 통해 다양한 코스를 제공하고 있으며, 실내뿐만 아니라 실외에도 설치가 가능하다는 장점이 있다(그림 6 참조).



(그림 6) Focaltron사의 GA Sim

캐나다의 IST사는 4대의 고속 카메라로 구성된 QuadVision 시스템을 이용한 골프 시뮬레이터인 High Definition Golf를 개발하였는데[7], 실제 골프 코스의 고해상도 디지털 사진과 GIS 정보를 이용하여 실사 수준의 3차원 모델을 제공하며 온라인을 통해 게임을 진행하거나 지도를 받을 수 있다(그림 7 참조).

그러나 위 기술들은 정확도를 높이기 위해 고가의 장비를 사용해야 하므로 일반 아케이드 게임에 적용



(그림 7) IST사의 High Definition Golf

하기에는 제약이 있으며, 고속 카메라의 경우 실외에서 사용하는 것이 어려운 부분이 있다.

미국 TruGolf사는 공을 추적하기 위한 음파센서와 클럽의 움직임을 분석하기 위한 광센서로 이루어진 TruTrac을 개발하여[8] 골프 아케이드 게임용 시뮬레이터를 개발하였으나 공을 직접 측정하는 방식이 아닌 간접 측정 방식으로 정확도 면에서 부족함이 있다(그림 8) 참조.



(그림 8) TruGolf사의 골프 시뮬레이터

해외 시장을 선도하고 있는 국내 스크린 골프 1위 업체인 골프존은[9] 센서 방식의 인식기를 통해 골프공의 초기 속도, 탄도각, 방향을 측정하고, 골프 클럽을 감지하여 간접적으로 골프공의 스핀을 산출할 수 있는 스크린 골프 시스템을 개발하였다. 그러나 골프 클럽 감지를 통한 간접적인 골프공 회전 산출 방식은 정밀도에 한계가 있다(그림 9a) 참조.

XGolf에서는[10] 타석에 설치된 레이저 센서 장치를 통해 공의 경로를 측정하고 스크린에 설치된 음파 센서를 통해 예측된 공의 경로와 실제 공이 맞은 위치 차이를 분석하여 볼의 회전각을 유추할 수 있는 기술을 개발하여 골프 시뮬레이터에 적용하였다. 그러나 레이저 센서는 고가이며 설치 면적 또한 크게 소요될 뿐만 아니라, 간접 측정 방식으로 정밀도에 한계가 있다(그림 9b) 참조. 알바트로스에서는[11] 두 대의 카메라와 한 대의 라인 스캔 카메라를 이용하여 공의 경로 및 회전을 계산하는 기술을 포함한

골프 시뮬레이터를 개발하였으나, 경로 및 회전 정보 분석이 정확하지 않다는 단점이 있다(그림 9c) 참조. 벡터 골프의 임팩트라 시스템은[12] 고속 카메라로 촬영된 회전체 영상에서 클럽과 함께 볼에 마킹된 두 개의 특이점을 인식하여 공의 경로와 회전을 분석할 수 있으나 배경 조명 변화와 같이 설치 조건이 동일하지 않는 경우 오차가 발생하는 제약이 있다(그림 9d) 참조.



(a) 골프존



(b) XGolf



(c) 알바트로스



(d) 벡터골프

(그림 9) 국내 스크린 골프 시스템

III. 회전체 인식 기술

앞에서 살펴본 바와 같이 스포츠 게임에서 중요한 부분은 시뮬레이션의 정밀도라고 할 수 있다. 정밀도를 높이기 위해서는 회전체의 초기 속도, 방향뿐만 아니라 회전 정보를 정확하게 획득하는 것이 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

회전체 인식 기술은 촬영된 영상을 기반으로 회전체를 판별하는 전처리 단계와 판별된 회전체 영역을 기반으로 공의 궤적을 추출하는 복원 단계로 나누어진다. 이를 위한 다양한 영상 전처리 기술 및 복원 기술들이 존재하나, 영상 품질, 적용 환경 등에 민감하며 처리 속도에 제약이 있다는 단점이 있다.

전처리 단계에서 공의 영역을 분석하는 기술로는 미국 CMU에서 고속 컬러 세그멘테이션(color segmentation)을 기반으로 최대 32가지 색, 수백 개의

영역을 분류할 수 있는 영역 분할 방법을 제시하였으며[13], 호주 멜버른 대학에서는 영상에서 에지(edge) 특징을 기반으로 적응적 아크 피팅(adaptive arc fitting) 기법을 적용한 실시간 공 검출 방법을 제안하였다[14]. 독일 프라운호퍼 연구소에서는 CARTs를 이용한 Ada Boost 알고리즘을 적용하여 공 영상 에지 특징을 학습하고 이를 통해 컬러와 무관하게 고속으로 공의 영역 탐색 방법을 개발하였다[15].

영상의 특징(컬러, 에지 등)으로부터 구형 피사체의 위치를 찾는 방법으로는 원의 중심과 반지름을 파라미터로 이용하는 CHT 또는 RHT 기반 탐색 방법, 원에 해당하는 2차 방정식의 계수를 대수학적으로 추정하는 ACF 방법, 비선형 최적화 기법을 이용하여 기하학적 비용 함수를 최소화하는 GCF 방법 등이 있으나[16] 영상에서의 노이즈와 영상 특징의 품질에 민감하다는 제약이 따른다.

최근 다중 노출 그레이 이미지(multi-exposure gray image)를 기반으로 고속 이동/회전하는 공의 검출 방법에 대한 연구가 진행되고 있는데, 이는 영상으로부터 스캔라인 당 분포 값을 기반으로 배경을 제거하고, 이후 고속으로 상향식 레이블링(bottom-up labeling) 프로세스를 통해 공의 영역만을 추출하게 된다[17].

회전체의 궤적을 복원하는 기술로는 뉴질랜드 오클랜드 대학에서 저가 스테레오 웹 카메라를 이용하여 특정 컬러의 골프 공과 특정 컬러의 마커가 부착된 골프 퍼터의 운동을 추적하는 3차원 비전 시스템을 제안한 바 있다[18]. 이탈리아 밀라노 폴리테크닉에서는[19] 노출 시간을 제어할 수 있는 고해상도 카메라를 이용하여 노출 시간 동안 운동체의 이동에 의해 발생한 모션 블러(motion blur) 특징을 기반으로 운동체의 3차원 속도, 회전축, 각속도를 복원하는 방법을 제시하였다. 캐나다 IMAGO사에서는 비디오 기

반 광학식 표적 추적 기술을 기반으로 공의 속도, 경로, 거리 등을 실시간으로 측정할 수 있는 tracking and trajectory 시스템을 개발하였다[20]. 그러나 이러한 방법들을 이용하여 고속으로 회전하는 회전체의 회전축과 회전각까지 정확하게 복원하는 데는 다소 무리가 있다.

그 외에도 미국 GolfLab사에서는 골프 관련 장비의 정밀한 성능 분석을 위해 고속 카메라 기반 분석 기술을 보유하고 있으며, 미국 Zelocity사에서는 도플러 레이더 기술을 기반으로 골프공과 클럽의 속도와 방향, 궤적을 고속으로 정밀하게 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 미국 FlightScope사는 자사에서 개발한 3D 도플러 트래킹 골프 레이더를 적용하여 골프 지도, 스윙 분석, 클럽 피팅 등을 위한 시스템을 개발하였다. 그러나 이러한 시스템은 골프 전용으로 개발되고 있으며 성능 분석을 위한 정밀 장비이므로 일반 아케이드 게임에는 적합하지 않다.

IV. 회전체 시뮬레이션 기술

회전체의 3차원 속도와 회전을 복원한 후 정확한 시뮬레이션을 통해 회전체가 날아가는 궤적을 계산하여 사용자에게 가시화 하는 기술이 요구된다. 회전체의 이동 궤적 시뮬레이션 기술은 실제 궤적과 유사하면서도 실시간 처리가 가능해야 한다는 이슈가 있다.

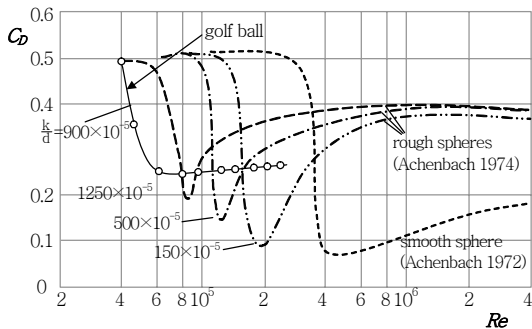
정확한 회전체 시뮬레이션을 위해서는 공기 역학을 기반으로 회전체에 작용하는 힘을 계산해야 한다. 회전하는 공에 작용하는 힘은 크게 세 가지이며, 이는 공이 이동하며 공기의 흐름과의 관계에서 발생하는 항력(drag force), 공의 회전에 의해 회전축과 진행방향의 수직 방향으로 발생하는 양력(lift force), 그리고 중력(gravity force)이다. 따라서 이 세 가지

힘을 정확하게 계산하는 것이 시뮬레이션의 핵심이라고 할 수 있다.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{\text{lift}} + \mathbf{F}_{\text{drag}} + \mathbf{F}_{\text{gravity}}$$

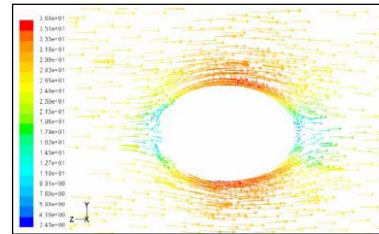
식에서 양력과 항력은 공의 면적, 속도, 양력 혹은 항력 계수, 공기 밀도로 구성되어 있다. 따라서 양력 및 항력을 정확하게 계산하기 위해서는 양력 및 항력 계수와 공기 밀도가 중요한 변수가 된다.

영국 Imperial College 연구팀에서는[21] 윈드 터널(wind tunnel)에서 골프공에 작용하는 공기 역학적 힘을 찾는 실험을 하였으며, 이를 통해 육각 형태의 딩플의 모양이 다소 공기의 저항을 적게 받는다는 사실을 발표하였다(그림 10 참조). 이와 비슷하게 미국 프린스턴 대학 연구팀에서는[22] 윈드 터널 실험을 통해 골프공의 비행을 위한 새로운 공기 역학 모델을 제시하였다. 스웨덴 Royal Institute of Technology 연구팀은[23] 표면이 매끈한 회전 공에 작용하는 힘에 대한 모델을 제시하였다.



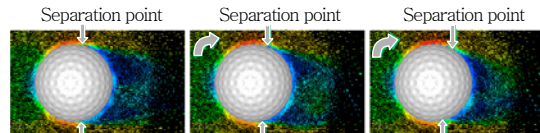
(그림 10) 공에 작용하는 항력 계수

미국 캘리포니아 대학 연구팀[24]에서는 고속 비디오 데이터로부터 야구공의 초기 조건 및 공기 역학적 힘을 추정하여 항력 계수, 양력 계수, 각속도 벡터 등을 계산하는 연구를 발표하였다. 이와 유사하게 오스트레일리아의 RMIT 대학에서는[25] 바람의 속도와 좌우 각도를 기반으로 럭비 공의 공기 역학적 속성을 찾아내는 연구를 한 바가 있다(그림 11 참조).



(그림 11) 럭비공 주변 속도 벡터

미국 아리조나 주립대학과 메릴랜드 대학 연구팀에서는 슈퍼 컴퓨터를 이용해 골프공의 비행 상태에서 주변 공기의 흐름을 가시화 하는 연구를 진행하였다[26]. 이 연구는 공에 작용하는 가장 작은 항력을 찾기 위해 골프공 표면의 딩플(dimple) 디자인을 최적화 하기 위한 실험이었다. 일본 토카이 대학 연구팀에서는[27] 골프공의 임팩트 시간에 초기 조건(속도, 각도, 회전율 등)과 공기 역학적 속성(항력, 양력 등)에 의해 골프공의 비행 거리가 어떻게 달라지는지에 대한 실험을 통해 공 주변의 공기 흐름 패턴에 대한 분석을 시도하였다(그림 12 참조).



(그림 12) 골프공 주변 속도 벡터

최근에는 공기 역학 기반 시뮬레이션을 위한 항력 계수 및 양력 계수 모델뿐만 아니라 온도, 습도, 고도에 따른 공기 밀도의 변화, 공의 높이에 따른 바람의 함수에 대한 연구를 통해 정확도를 높이는 연구도 진행되고 있다[28].

상용화된 회전체 시뮬레이터로는 미국 Focaltron사의 Friction, Magnus, Spin Time Constant, K-Azimuth 파라미터를 적용한 골프 시뮬레이터가[6] 있다. 미국 AboutGolf사의 골프 시뮬레이터는[5] 회전체의 복원된 스핀 값을 이용하여 공기 역학을 기반으로 골프공의 이동 궤적을 시뮬레이션 하는 기술을

개발하였는데, 공의 사실적 비행 궤적뿐만 아니라 공의 백스핀에 의해 지면과 충돌시 뒤로 구르는 연출이 가능하다. 미국 PowerAlley Interactive사는 야구 피칭 게임인 ‘파워 피칭’을 개발하였는데[29], 사용자가 던진 야구공의 속도와 방향을 인식하여 이를 회전체의 궤적 시뮬레이션 기술에 적용하고 있다.

시뮬레이션 기술 외에도 회전체의 이동 궤적 데이터를 수집하기 위한 볼 추적 기술로는 미국 PGA에서 휴대용 도플러 레이더를 이용하여 공의 궤적을 실시간으로 추적하고 있으며, 미국 레이더 골프사의 레이더 골프공은 코어에 위치 추적용 주파수 칩을 내장시켜 공의 위치를 쉽게 찾을 수 있도록 하였다. 테니스의 경우 6~10대의 카메라를 이용하여 공을 촬영한 후 공의 궤적을 그래픽으로 재구성하여 보여주는 호크아이(hawkeye)라는 장비가 사용되고 있으나, 실시간 분석은 불가능하며 판독을 요청하는 경우에 한해서 촬영된 영상으로부터 궤적을 복원하고 있다.

V. 결론

체감형 스포츠 게임 산업은 여전히 증가하는 추세에 있으나, 단지 재미를 위한 게임은 실제와 달리 정확도가 떨어지며 향후 스포츠 게임 시장에서 성장에 한계를 가져올 것으로 예측된다. 따라서 이를 극복하고 시장의 확대를 모색하기 위해 실제와 유사한 환경 및 사실적인 시뮬레이션 결과를 적용한 실감 기반 게임을 주목할 필요가 있다. 이와 같은 실감 및 체감형 스포츠 게임은 사용자에게 몰입감과 흥미 요소뿐만 아니라 스포츠 능력 향상에도 도움이 될 것으로 전망되며, 초보자뿐만 아니라 중급자 이상의 사용자 층을 확보하면서 국내 아케이드 게임 산업에 활력을 불어넣을 수 있을 것으로 전망한다.

이를 위해 회전체 판별 및 인식 기술, 실시간 물리

엔진 기술에 대한 연구가 계속적으로 진행되어야 하며, 향후 이와 같은 핵심 기술들은 골프, 야구, 축구, 볼링 등 다양한 구기 종목의 스포츠 아케이드 게임에 적용되어 국내 아케이드 산업을 활성화 시킬 수 있는 기반을 마련하고 그 동안 제약으로 여겨졌던 시간, 장소, 날씨, 비용과 같은 부분들을 해소하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

● 용 어 해 설 ●

체감형 게임 기술: PC 앞에서 손으로만 조작하던 한계를 벗어나, 온몸으로 즐길 수 있는 게임 기술

실감형 게임 기술: 물리 시뮬레이션 기술 등을 적용하여 현실에서 게임을 하는 느낌을 주는 게임 기술

약어 정리

ACF	Algebraic Circle Fitting
CARTs	Classification and Regression Trees
CHT	Circular Hough Transform
FPS	First-Person Shooter
GCF	Geometrical Circle Fitting
IST	Interactive Sports Technologies
RHT	Randomized Hough Transform

참고 문헌

- [1] Visual Sports, <http://www.visualsportssys.com/>
- [2] Traq3D, <http://www.traq3d.com/>
- [3] XaviX, <http://www.xavix.com/>
- [4] Joba, <http://www.panasonic.com/>
- [5] AboutGolf, “PGA Tour Simulator with 3Trak,” <http://www.aboutgolf.com/>
- [6] Focaltron, “GolfAchiever,” <http://www.golfachiever.com/>
- [7] Interactive Sports Technology, “High Definition Golf,” <http://www.istgolf.com/>
- [8] TruGolf, “E6Golf,” <http://www.trugolf.com/>
- [9] GolfZone, “Golfzone Simulator,” <http://www.golfzone.com/>

- [10] XGolf, "XGolf Pro," <http://www.xgolf.cc/>
- [11] Albatross, "Albatross3," <http://www.al3.co.kr/>
- [12] VectorGolf, "Impactra," <http://www.vectorgolf.com/>
- [13] J. Bruce, Tucker Balch, and Manuela Veloso, "Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots," in *Proc. of the 2000 IEEE/RSJ IROS*, 2000, pp.2061-2066.
- [14] G. Coath and P. Musumeci, "Adaptive Arc Fitting for Ball Detection in Robocup," in *Proc. APRS Workshop on Digital Image Computing*, 2003, pp.63-68.
- [15] S. Mitri, K. Pervolz, H. Surmann, and A. Nuchter, "Fast Color-Independent Ball Detection for Mobile Robots," in *Proc. of the IEEE Mechatronics and Robotics*, 2004, pp.900-905.
- [16] I. Frosio and N.A. Borghese, "Real-time Accurate Circle Fitting with Occlusions," *Patt. Recogn.*, Vol.41, 2008, pp.1041-1055.
- [17] J.S. Kim and M. Kim, "Robust High-speed Ball Detection with Multi-exposure Gray Images," Workshop on Image Processing and Image Understanding(IPIU), 2011.
- [18] A. Woodward and P. Delmas, "Computer Vision for Low Cost 3-D Golf Ball and Club Tracking," in *Proc. Image and Vision Computing New Zealand*, 2005, pp.11-15.
- [19] G. Boracchi, V. Caglioti, and A. Giusti, "Estimation of 3D Instantaneous Motion of a Ball from a Single Motion-Blurred Image," *VISIGRAPP 2008*, 2009, pp.225-237.
- [20] IMAGO, "Complete Turnkey Tracking Systems and 3D Trajectory Systems," <http://www.imago-trackers.com/>
- [21] P.W. Bearman and J.K. Harvey, "Golf Ball Aerodynamics," *Aeronautical Quarterly*, Vol.27, 1976, pp.112-122.
- [22] A.J. Simit and D.R. Smith, "A New Aerodynamics Model of a Golf Ball in Flight," *Science and Golf II*, 1994, pp.340-347.
- [23] K.I. Borg, L.H. Soderholm, and H. Essen, "Force on a Spinning Sphere Moving in a Rarefied Gas," *Physics of Fluids*, Vol.15, No.3, 2003, pp.736-741.
- [24] Leroy Ward always, "Aerodynamics of the Curve-Ball: An Investigation of the Effects of Angular Velocity on Baseball Trajectories," Ph.D in Engineering Dissertation, University of California, 1998.
- [25] Firoz Alam, Aleksandar Subic, Simon Watkins, Jamal Naser, and M.G. Rasul, "An Experimental and Computational Study of Aerodynamic Properties of Rugby Balls," *WSEAS Transactions on Fluid Mechanics*, 2008, pp.279-286.
- [26] C. Smith, N. Beratlis, K. Squires, E. Balaras, and M. Tsunoda, "Direct Numerical Simulations of the Flow around a Golf Ball: Effect of Rotation," *61st Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics*, Vol.53, No.15, 2008.
- [27] Katsumi Aoki, Koji Muto, and Hiroo Okanaga, "Aerodynamic Characteristics and Flow Pattern of a Golf Ball with Rotation," *Conf. of the Int'l Sports Engineering Association(ISEA)*, 2010, pp.2431-2436.
- [28] S.M. Baek and M. Kim, "Flight Trajectory of a Golf Ball for a Realistic Game," *IEEE Int'l Conf. on Information and Multimedia Technology (ICIMT) 2010*, Vol.2, 2010, pp.180-184.
- [29] Power Alley Interactive, "Video Interactive Baseball: Baseball Batting Cages & Pitching Machines," <http://www.poweralleyinteractive.com/>