

가상현실 기반 실전형 스포츠 시뮬레이션 게임 기술

김명규 ETRI 콘텐츠연구본부 책임연구원

김종성 ETRI 콘텐츠연구본부 선임연구원

백성민 ETRI 콘텐츠연구본부 선임연구원



1. 머리말

2005년 200여 곳에 불과했던 국내 골프 시뮬레이션 게임장은 2010년에 7,000여 곳을 넘었으며, 1~2년 사이에 10,000여 곳을 넘을 것으로 보인다. 세계적으로는 골프 게임 이외에도 야구, 축구, 농구 등의 다양한 구기 스포츠 시뮬레이션 게임이 개발되어 진화 중으로 2011년도 시장이 36억 달러에 이를 것으로 전망된다. 이와 같은 스포츠 시뮬레이션 게임은 사용자가 치거나 던지거나 차는 등의 행동이나 타격된 공의 초기 운동을 획득하여 회전체 초기 조건을 인식하는 기술, 초기값을 입력 받아 공의 비행 운동을 모사한 후에 장애물 등과의 충돌 후 지면을 구르는 운동을 모사하는 물리 시뮬레이션 기술, 모사된 운동 애니메이션을 가상 현실 공간에서 표현하는 콘텐츠로 구성된다.

초기의 스포츠 시뮬레이션 게임은 단순 모사 기반 게임이어서 재미 요소 발굴에 한계가 있었다. 하지만 점차 사용자들의 실감 게임에 대한 요구가 크게 증가하여 공의 크기나 질량 이외에도 회전의 효과, 공기와

의 상호작용, 공의 거칠기 효과 등을 고려해야 하는 실전형 게임으로 진화하고 있으며 이를 지원하는 연구 개발이 진행되고 있다.

본 고에서는 실전형 스포츠 시뮬레이션 게임을 구성하는 요소 기술인 회전체 초기 조건 인식 기술, 회전체 실시간 물리 엔진 기술 및 가상 현실 기반 스포츠 게임 콘텐츠에 대해서 살펴보고 이 분야의 연구 현황에 대하여 고찰한다.

2. 회전체 초기 조건 인식용 장치 기술

회전체 초기 조건 인식 기술은 게이머의 게임 행위 후 날아가거나 굴러가는 공의 초기 속도 벡터와 스핀 벡터를 인식하는 기술이다. 회전체 초기 조건 인식 기술은 크게 비영상 센서인 레이저, 적외선, 음파 기반 기술과 영상 센서 기반 기술로 나눌 수 있다.

비영상 센서 기반 기술은 게이머의 타격 도구를 인식하여 회전체 초기 조건을 간접 유도해 부정확하거나, 공의 초기 조건을 직접 유도하는 경우에도 속도는



[그림 1] 실내 골프 시뮬레이션 게임

정확하나 스핀은 부정확하다. 예를 들면, (주)골프존은 수직·수평 센서부를 통하여 골프공의 초기 속도와 탄도각과 방향을 측정할 수 있고, 수평 센서부에서 골프 클럽을 감지하여 골프공 스핀 산출이 가능한 모의 골프시스템을 개발했으나 클럽 감지를 통한 간접적인 공스핀 산출 방식으로 정밀도에 한계가 있다. 또한 (주)알바트로스의 Albatross3는 3개의 레이저 광막을 통과하며 생성하는 공 그림자 정보를 분석하여 공의 속도와 3차원 위치를 계산하나 스핀 정보는 분석하지 못하는 문제점이 있다. 이와 같은 비영상 센서 기술은 초창기 단순 모사 게임의 경우는 충분했으나, 최근의 실전형 게임을 위한 정확성을 요구하는 기술로 사용이 어렵다는 한계를 가지고 있다.

영상 기반 회전체 초기 조건 인식 기술은 속도 뿐만 아니라 스핀도 정확하게 인식할 수 있는 장점을 가지고 있다. 골프, 야구 등의 스포츠 시뮬레이션 게임의 초기 공 영상을 캡처하기 위해서는 1,000fps 이상 속도의 고속 카메라 시스템이 필요한데 현재는 이 카메라들이 게임 전용이 아니라 범용이어서 고가라는 문제점을 가지고 있다. 예를 들어, 미국 Vision Research 사는 고사양 고속 카메라인 Phantom v210, v310, v710 등과 일반사양 고속 카메라인 Phantom Miro eX 시리즈 등을 보급하고 있는데 가격이 수천만 원대이며, 미국 RedLake사의 MotionXtra N, MotionPro

Y 및 MotionScope M 시리즈는 산업용 비전 시스템과 스포츠 분석 시스템 등에 사용되나 가격이 수천만 원대이다. 또한 일본 Photron사의 고속 카메라 FASTCAM 시리즈는 고해상도 고속 촬영이 필요한 스포츠 분야와 항공 분야 등에서 주로 사용되고 있으나 타사보다 1.5배 이상 고가이다.

정확한 3차원 속도나 스핀을 인식하기 위한 방법으로 카메라 어레이 기반의 다중 카메라 시스템이 고속 캡처 용도로 활용되고 있으나 아케이드 게임용 시스템으로는 부적합한 문제를 가지고 있다. 예를 들면, 미국 스탠포드 대학에서는 30fps 속도로 동작하는 CMOS 카메라 52대로 구성된 다중 카메라 어레이를 통해 640x480 해상도에서 1,560fps 속도로 고속 캡처가 가능한 카메라 시스템을 개발했으나, 지나치게 많은 카메라가 필요하다는 문제점이 있다. 또한 미국 Digital Air 사에서는 36대의 HD급 카메라를 일렬로 연결한 카메라 어레이 시스템인 Movia를 개발해 스포츠 선수의 움직임 등을 고속으로 촬영하는데 활용했으나, 가격이 높고 소형화가 되지 않아 게임용 시스템으로는 부적합하다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위한 방식으로 회전체 초기 운동의 2~3 프레임만을 시분할 방식으로 촬영해 기존의 고속 카메라와 같은 효과를 갖는 시분할 카메라 어레이 시스템 기술이 있다. 실전형 스포츠 시

플레이션 게임 전용의 시분할 카메라 어레이 시스템 기술 개발을 위한 연구가 국내외에서 진행 중이다.

3. 영상 기반 회전체 초기 조건 인식 기술

회전체의 정확한 초기 조건 인식을 위해서는 회전체 초기 운동 영상에 대한 전처리 기술이 필요하다. 회전체 초기 영상 전처리 기술은 다수 존재하나 영상 품질, 적용 환경 등에 민감하고 처리 속도에 제약이 많은 문제점을 가지고 있다. 예를 들면, 미국 CMU에서는 고속 컬러 Segmentation을 통한 고속 공 영역 분할 방법을 제안했으나, 배경 조도 변화에 민감해 제한적인 장소에서만 사용 가능하다. 또한 호주 멜버른대학에서는 적응적 Arc Fitting을 통한 영상 에지(Edge) 특징 기반 고속 볼 검출 방법을 제안했으나 추출된 에지 특징 품질에 볼 검출 정확도가 민감한 문제점이 있다. 또한 독일 프라운호퍼연구소에서는 CARTs(Classification and Regression Trees)를 이용한 볼 영상 에지 특징 학습과 분류를 통한 고속 볼 영역 탐색 방법을 개발했으나 학습 및 분류 성능에 따라 공이 아닌 물체를 공으로 잘못 인식하는 오류 가능성이 있다. 컬러 또는 에지와 같은 영상 특징으로부터 구형 피사체의 외형 모델을 분석하는 방법으로는 CHT(Circular Hough Transform) 또는 RHT(Randomized Hough Transform) 기반으로 원 중심과 반지름을 탐색하는 방법과 원에 해당하는 2차 방정식 계수를 대수학적으로 추정하는 ACF(Algebraic Circle Fitting) 방법, 비선형 최적화 기법을 이용하여 기하학적 비용 함수를 최소화하도록 중심과 반지름을 계산하는 GCF(Geometrical Circle Fitting) 방법 등이 존재하나 최종 모델 분석 성능이 영상 잡음의 강도와 추출된 영상 특징의 품질에 민감한 문제점이 있다.

회전체 초기 운동 영상에 대한 전처리 후에는 회전체 궤적 추출 기술이 필요한데 현재의 기술은 속도 인

식은 가능하나 스핀 인식에는 제약이 많다. 스핀 인식이 되어도 게임에 적용하기 위한 실시간성이 부족한 문제점을 가지고 있다. 예를 들면, 뉴질랜드 오클랜드 대학에서는 저가의 스테레오 웹 카메라를 이용해 특정 컬러의 공과 특정 컬러의 마커가 부착된 클럽의 운동을 추적할 수 있는 저가의 3차원 비전 시스템을 개발했으나 스핀 정보는 분석할 수 없고, 마커 인식이 조명 조건에 민감해 제한된 배경과 장소에서만 적용 가능한 문제점이 있다. 또한 캐나다 IMAGO사는 자사가 개발한 비디오 기반 광학식 표적 추적 기술을 기반으로 공의 속도와 궤적, 거리 등을 실시간으로 정밀하게 측정할 수 있는 IMAGOLF 시스템을 개발했으나 공 중심 영역은 추적 가능하지만 표면의 특이점과 같은 미세한 영역은 추적할 수 없기 때문에 스핀과 관련된 회전축과 회전각은 측정하지 못한다. 또한 이탈리아 밀라노 폴리테크닉에서는 공 운동의 단일 사진 영상으로부터 노출 시간 동안 공의 연속된 운동에 의해 발생한 사진상의 모션 블러(Motion Blur) 특징을 기반으로 해당 공의 속도와 스핀을 분석하는 방법을 제시했으나 고해상도 사진의 사용과 노출 시간의 제약으로 인하여 실시간으로 분석하기에는 어려움이 있다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위한 방식으로는 다양한 조명 환경에서 캡처된 영상으로부터 휘도별 영상 잡음 분포를 분석해 영상 잡음을 정밀하게 모델링함으로써 조명 변화에 따른 휘도별 영상 잡음 변화에 대응할 수 있으며, 사전에 모델링된 휘도별 영상 잡음 모델을 기반으로 배경 영역을 실시간으로 제거해 줌으로써 회전체 특이점 검출 속도와 성능을 극대화 할 수 있는 영상 전처리 기술이 연구되고 있다. 이 전처리 기술은 회전체 모델과 모션을 동시에 사용해 연속 영역 스캔 영상 프레임에서 특이점 간 시공간 연관성 추출을 가능하게 하는 연구를 포함한다.

영상 전처리 후 3차원 속도와 스핀 인식을 위한 방법으로는 크기, 회전, 조명 변화에 불변인 특이점 변화 기법을 이용해 회전체 표면 특이점을 추적함으로써 거

리 변화, 공 회전, 실내의 조명 변화 등에 강인한 특이점 추적을 가능하게 하고, 별도의 사전 정보를 이용하지 않고 회전체의 3차원 모션 모델을 직접 이용해 특이점 self-occlusion 처리의 자동 판별을 가능하게 하는 방법이 집중적으로 연구되고 있다.

4. 회전체 실시간 물리엔진 기술

회전체의 초기 3차원 속도와 스핀 인식 후에는 이를 초기값으로 입력하여 물리 시뮬레이션을 하는 기술이 요구된다. 물리 시뮬레이션은 실전형 게임이 목적이므로 정밀하고 실시간이어야 하므로 이를 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 그런데 회전체 물리 시뮬레이션을 위한 많은 수학적 모델이 물리학, 기계공학 및 응용수학에서 이미 제시되어 있으나 이들을 실전형 게임 엔진에 적용되기 위해서는 정밀한 튜닝 과정이 필요하다.

예를 들어, 미국 애리조나 주립대학과 메릴랜드대학교에서는 슈퍼컴퓨터를 이용해 회전체 딴플(dimple) 디자인이 공기의 흐름을 어떻게 바꿔 놓는지에 대한 연구를 통해 비행 궤적 변화를 가시화 하였으나 수학적 모델 검증이 목표였기 때문에 실시간 처리가 되지 않는다. 일본 도호쿠대학 연구팀에서는 유체를 기술하는 Navier-Stokes 방정식을 그리드(Grid) 구조에서 풀어, 회전하는 골프공 주변의 플로 필드(flow field)를 계산해 가시화했는데, 2개의 서로 다른 딴플을 가진 골프공과 2개의 플로 조건으로 데이터가 부족해 모델에 대한 검증이 미흡하다. 미국 Focaltron사는 골프공의 비행 궤적에 영향을 미치는 4가지 파라미터인 Friction Coefficient, Magnus Coefficient, Spin Time Constant, K-Azimuth를 이용한 공기역학 기법을 포함한 비행 물리 엔진을 개발했으나 충돌에 따른 궤적변화는 고려하고 있지 않다. 미국 AboutGolf 시뮬레이터는 백스핀 공이 지면에 충돌 시 뒤로 구르는 연출이 가능하나 정밀 시뮬레이션이 아니며 실제보다

길거나 짧은 경로가 형성되는 문제가 있다.

이외에도 그리스 Technological Educational Institute of Chalkis는 2009년에 축구공의 비행 궤적에 대한 모델을 제안해 프리킥 궤적을 이해시키기 위한 도구로 활용 되었으나 교육용 모델이기에, 실전 게임용으로는 모델의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 포르투갈 미뉴대학교는 축구공 동역학 연구를 수행해 자연조건에서 축구공 힘을 조정하는 마그누스 효과(Magnus effect)를 고려한 3차원 궤적을 시뮬레이션했으나 마그누스 효과에 대한 정확한 수치 모델을 제공하지 않으며 마그누스 효과 개념만을 소개한다.

회전체 물리 시뮬레이션 결과가 가상 현실 게임 콘텐츠와 연동되어 가시화되기 위해서는 물리 엔진으로 구현되어야 하는데, 관련된 상용 및 공개용 엔진과 라이브러리가 존재하나 실전형 회전체 물리 엔진에 사용하기에는 어려움이 있다. 게임용 물리엔진으로는 PhysX, Havok, ODE, Bullet이 있으며, 이 중에 PhysX는 NVIDIA사와, Havok은 Intel, AMD사와의 상호협력력을 통해 기술개발을 수행하고 있으나, 이들은 범용 물리엔진으로 실전형 정밀한 회전체 운동을 재현하기 어려운 문제점이 있다. 국내 골프존과 알바트로스에서는 자사의 골프 아케이드 게임 시스템에 자체 개발한 물리엔진을 사용하고 있으나 회전 효과가 반영되지 않아 실전형 회전체 운동 지원이 미비하다.

정밀한 실전형 회전체 물리 엔진은 회전하는 공의 공기 역학 마그누스 효과(Magnus effect)를 반영한 비행 시뮬레이션, 온도/습도/고도에 따른 공기 점도 변화를 반영한 비행 시뮬레이션, 회전 마찰력을 고려한 실시간 충돌 시뮬레이션을 지원해야 한다. 또한 정확성을 증대하기 위하여 공의 딴플이나 봉합선에 기인한 표면 거칠기에 대한 고려가 요구된다. 이와 같은 정밀한 회전체 물리 엔진이 실시간 게임에 작용되기 위하여 실내·외 실측 DB를 활용하여 오차를 최소화하도록 파라미터를 미리 튜닝해야 하며, 실시간성을 보장하기 위한 추가적인 연구로는 GPU 기반 고속화 기술

이 있다. 언급한 주제를 중심으로 실전형 스포츠 시뮬레이션 게임 전용의 정밀 실시간 회전체 물리 엔진에 대한 연구 개발이 국내외에서 활발히 진행 중이다.

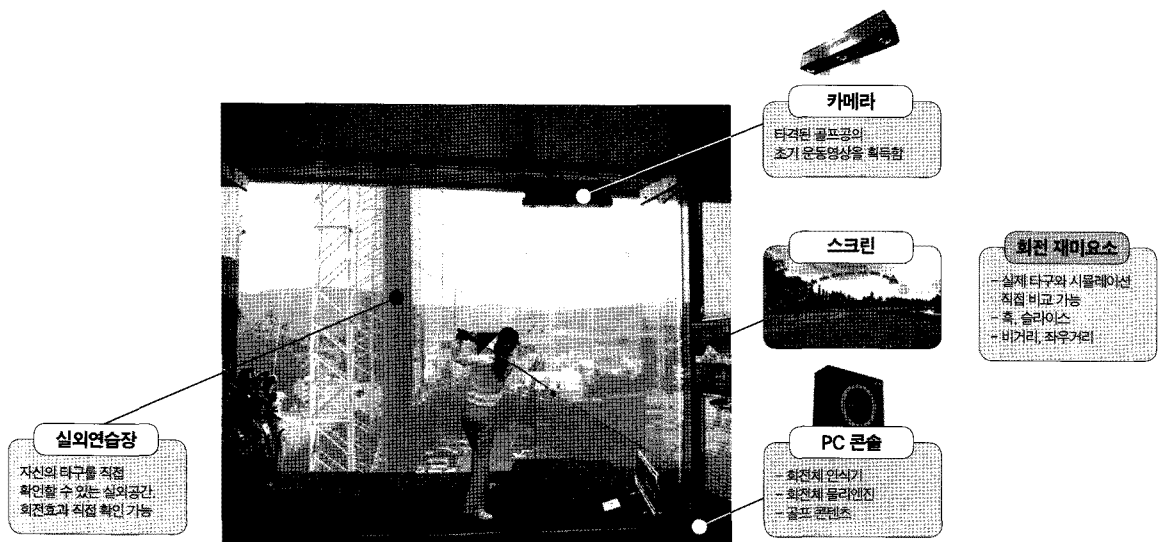
5. 가상 현실 기반 스포츠 게임 콘텐츠

실전형 스포츠 시뮬레이션 게임은 가상 현실 기술이 적용되어 몰입된 환경 속에서 게이머에게 실감성을 제공한다. 현재까지는 초기 속도 벡터 위주의 상용 스포츠 게임이 다수 존재하나 설치에 제약이 많고, 3차원 스펠 반영은 미비하고 고가 장비가 필요한 실정이다.

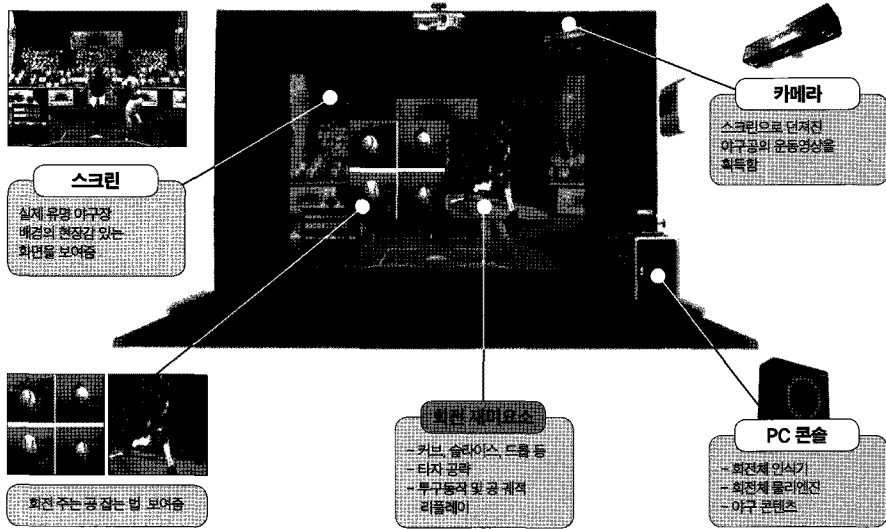
골프 스포츠 게임 예를 들면, 미국 AboutGolf 사는 자사가 개발한 3Trak 시스템을 이용한 골프 아케이드 게임용 PGA 투어 시뮬레이터를 개발해 상용화했는데 50여 곳 이상의 실제 코스에 대한 정밀한 3차원 모델을 제공하나, 고가 장비를 이용하고 실외는 지원하지 않는다. 미국 Focaltron사는 레이저 방식 기반의 골프 시뮬레이터를 개발했는데 실내뿐만 아니라 실외에도 설치 가능하나 고가의 레이저 센서 필요하고 타석 근처에 센서를 설치해야 하는 제약이 있다. 캐나다 Interactive Sports Technologies사에서 개발한 골프

시뮬레이터는 실제 골프 코스의 고해상도 사진과 GIS 정보를 이용해 실사 수준의 3차원 모델을 제공하며 온라인을 통한 게임 진행과 지도가 가능하나 고가 장비를 이용하고 실외는 지원하지 않는다. 미국 TruGolf 사는 공 추적위한 음파센서와 클럽 운동 분석위한 광센서로 골프 시뮬레이터를 개발했으나 속도와 스핀을 간접적으로 측정하는 방식으로써 정밀하지 못하다. 국내 골프존에서 개발한 골프 시뮬레이터는 타격마다 게이머의 스윙모션을 보여주며, 라운딩은 물론 매치 플레이, 스킨스 게임, 장타 대회 등의 다양한 게임을 수행하는 것이 가능하다. 국내 알바트로스에서 개발한 골프 게임기는 실측으로 제작된 3차원 가상 골프장의 렌더링, Full 3D로 제작된 3,000여개의 나무와 잔디를 통해 사실적인 환경을 제공하며 타격마다 나오는 각종 내레이션과 환호소리까지 지원한다.

골프 이외의 스포츠 게임의 예를 들면, 캐나다 Visual Sports사는 4개의 고속 머신 비전 카메라 (MicroSight)를 이용하여 매초 2,000장의 사진을 분석해 회전체의 정확한 궤적, 방향 및 속도를 계산할 수 있는 기술을 보유하고 있으며, 이를 기반으로 골프, 축구, 미식축구, 농구, 하키 등의 스포츠 시뮬레이



[그림 2] 실외 골프 시뮬레이션 게임



[그림 3] 야구 피칭 시뮬레이션 게임

선 게임을 하였는데, 고가의 가격이 문제이다. 미국 Probatler사에서는 비디오 Pitching 기계를 개발하여 선수 트레이닝에 활용하고 있는데 메이저 리그 투수들의 동영상 화면상에 보여주며, 공은 9개의 다양한 변화구와 속도를 선택할 수 있으나, 기계 당 가격이 약 \$45,000 정도로 고가이다. 미국 PowerAlley Interactive사는 '파워 피칭'이라는 제품을 개발하여 사용자가 던진 야구공의 속도와 방향을 인식하여 '볼, 스트라이크, 히트'를 판정하고 실제 메이저리그의 타석 모습을 비디오로 디스플레이해 사실감을 높이고 있다.

향후 실전형 골프 시뮬레이션 게임 개발 방향은 기존 초급사용의 실내 골프 게임에서 벗어나 정확한 회전 인식으로 중상급자로 사용자층을 확대할 것으로 보인다. 또한 실내뿐만 아니라 실외의 다양한 환경에 강인한 시스템 구축을 통해 실외연습장이나 골프아카데미 같은 다양한 환경에도 적용 가능할 것으로 보인다. 또한 회전체 초기 조건 인식 카메라, 회전체 초기 조건 인식 기술 및 실감형 회전체 실시간 물리 엔진으로 구성된 핵심 모듈을 개발하고 이 모듈이 골프 게임만이 아니라 야구, 축구 등의 다른 게임을 수용할 수 있는 형태가 될 것으로 예상된다.

6. 맷음말

세계 아케이드 게임 시장 규모는 2008년 약 350억 달러로 이 중 미국과 일본의 점유율이 1, 2등을 차지하고 있으며, 국내 점유율은 25위인 0.6%에 불과해 시장 규모에 비해 너무 낙후되어 있다. 그 원인은 미국과 일본에서는 아케이드 게임 산업을 항공우주기술이 민간부분시장에 적용된 것으로 여기는 긍정적 시각이 지배적이지만, 국내는 바다이야기 사태 이후로 아케이드 게임에 대한 부정적 인식이 팽배했었기 때문이다.

하지만 이후로 국내 스크린 골프에 대한 많은 관심은 새로운 유형의 아케이드 게임인 스포츠 시뮬레이션 게임의 발전을 촉진했고, 현재 국내 스포츠 시뮬레이션 게임은 일본, 영국 및 중국, 베트남, 러시아 등으로 시장 개척 초기 단계이다. 그러나 지금까지의 단순 모사 재미형 게임들은 향후 해외 시장 개척을 위한 한계에 봉착해 있으며, 새로운 정확 모사 실전형 게임을 위한 요소 기술 개발이 요구되고 있다.

이와 같은 실전형 스포츠 시뮬레이션 게임을 위한 콘텐츠는 가상 현실 기반으로 사용자에게 몰입감을 제공하는 방향으로 개발되고 있다. 또한 회전체 초기 조건 인식 기술과 회전체 실시간 물리 엔진 기술은 스

핀을 정확히 인식하고 스핀에 의한 비행/지면 궤적 변화를 정확히 묘사하는 실전형 기술 개발에 대한 연구가 진행 중이다. 향후 이와 같은 요소 기술은 골프 게임 이외에도 야구, 축구, 볼링 등의 다양한 시뮬레이션 게임에 적용되어 현실과 가상의 구별이 어려운 수준의 실감 게임까지도 가능할 것이다.

※ 본고는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2010년도 콘텐츠산업기술지원사업의 과제인 “스포츠 아카데미 게임을 위한 회전궤적인식 기술” 연구 개발 수행의 결과물이다.

[참고문헌]

- [1] Phantom, <http://www.visionresearch.com/>
- [2] Redlake, <http://www.redlake.com/>
- [3] Photron, <http://www.photron.com/>
- [4] Stanford Multi-Camera Array, <http://graphics.stanford.edu/projects/array/>
- [5] Movia, <http://www.movia.com>
- [6] B. Wilburn, N. Joshi, V. Vaish, M. Levoy, and M. Horowitz, ‘High-Speed Videography Using a Dense Camera Array’, IEEE Society Conference on Computer Vision (CVPR’04), pp. 294-301, 2004
- [7] B. Wilburn, N. Joshi, V. Vaish, E.-V. Talvala, E. Antunez, A. Barth, A. Adams, M. Horowitz, and M. Levoy, ‘High Performance Imaging Using Large Camera Arrays’, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH’05), Vol. 24, No. 3, pp. 765-776, 2005
- [8] C. Theobalt, I. Albrecht, J. Haber, M. Magnor, and H.-P. Seidel, ‘Pitching a Baseball – Tracking High-Speed Motion with Multi-Exposure Images’, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH’04), Vol. 23, No. 3, pp. 540-547, 2004
- [9] S. Mitri, K. Pervolz, H. Surmann, and A. Nuchter, ‘Fast Color-Independent Ball Detection for Mobile Robots’, IEEE Mechrob, pp. 900-905, 2004
- [10] I. Frosio and N. A. Borghese, ‘Real-Time Accurate Circle Fitting with Occlusions’, Pattern Recognition, Vol. 41, pp. 1041-1055, 2008
- [11] V. Caglioti and A. Giusti, ‘Recovering Ball Motion from a Single Motion-Blurred Image’, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 113, pp. 590-597, 2009
- [12] Jong-Sung Kim, Myunggyu Kim, ‘Robust High-Speed Ball Detection with Multi-Exposure Gray Images’, 제23회 영상처리 및 이해에 관한 워크숍, 2011
- [13] 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, Num. 15, 2008
- [14] H.C. Kim, H.J. Kim, K. Nakahashi, T. Kato and M. Tsunoda, ‘Flow Analysis around Golf Balls without and with Spinning’, Applied Aerodynamics Conference, June 2006
- [15] V. M. SPATHOPOULOS, ‘A Spreadsheet Model for Soccer Ball Flight Mechanics Simulation’, Computer Applications in Engineering Education, MAR 2009
- [16] P. Couto, ‘Studying Dynamics And Kinematics of a Soccer Ball in a Computer’, HSci2004
- [17] S. J. Kim, J. Lee, C. G. Song, ‘Interactive 3D Golf Simulator’, ICHIT-AMTA 2006
- [18] K. I. Borg, L. H. Soderholm and H. Essen, ‘Forces on a Spinning Sphere Moving in a Rarefied Gas’, Physics of Fluids, Vol. 15, Num. 3, Mar 2003
- [19] R.D. Mehta, ‘Sports Ball Aerodynamics’, CISM International Centre for Mechanical Sciences, Vol. 506, 2008
- [20] Seongmin Baek, Myunggyu Kim, ‘Flight Trajectory of a Golf Ball for a Realistic Game’, IEEE International Conference on Information and Multimedia Technology (ICIMT) 2010, Vol. 2, pp.180-184, 2010
- [21] AboutGolf, ‘PGA TOUR Simulator with 3Trak’, <http://www.aboutgolf.com>
- [22] Focaltron, ‘GolfAchiever’, <http://www.golfachiever.com>
- [23] Interactive Sports Technology, ‘High Definition Golf’, <http://www.istgolf.com>
- [24] TruGolf, ‘E6Golf’, <http://www.trugolf.com>
- [25] Visual Sports, <http://www.visualsportssys.com>
- [26] ProBatter Sports, ‘Video Pitching Machines’, <http://www.probatter.com>
- [27] Power Alley Interactive, ‘Video Interactive Baseball: Baseball Batting Cages & Pitching Machines’, <http://www.poweralleyinteractive.com> **TTA**