

# Design and Implementation of NUI-based Athletic Scene Generation System

Jong-In Choi\*

## Abstract

In this paper, we propose a system and an intuitive interface that can create an athletic scene among athletes. We allow you to enter motion as if you were playing a game, so that the user's action becomes the player's action. The user can take various actions in front of the motion sensor and control the object flying to him. When a user specifies an opponent to pass or attack, and takes appropriate action in front of the motion sensor, the movement trajectory of the object is automatically generated by the physical optimization technique in accordance with the motion. In this way, you can create scenes where multiple players play together in a virtual environment. The method of this paper will be very useful for rapid prototyping for cinematic trailers of based on athletics games or animations.

▶ Keyword: Computer graphics, Character animation, Human computer interaction

## I. Introduction

가상현실 기술을 통한 캐릭터와 오브젝트간의 상호 작용에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히 볼을 제어하는 가상 탁구게임과 같은 콘텐츠가 자주 등장하지만, 볼의 빠른 움직임에 반응하는 사실적인 실시간 캐릭터 애니메이션을 생성하는 것은 중요한 문제이다. 캐릭터 애니메이션 기술은 다양한 모션 제어 기술을 활용하고 전통적으로 키 프레임 기술[1]에 의존해보다 현실적이고 자연스러운 움직임을 만드는 방향으로 개발되어왔다. 특히 캐릭터의 자연스러운 동작과 일부 객체와의 상호 작용은 미디어 콘텐츠의 품질을 결정하는 중요한 요인이다. 가상현실 콘텐츠의 경우 캐릭터와 가상 환경 간의 상호 작용을 위한 동작을 생성하는 필요성에 대한 관심이 증가하고 있다. 모션캡처 장비는 가상현실에서 캐릭터 모션의 생성을 위해 일반적으로 사용된다. 모션캡처 장비는 사용자의 동작을 실시간으로 분석하여 가상 세계에 즉시 반영할 수 있다. 사용자의 움직임을 그대로 가상 세계의 캐릭터 행동에 반영하거나, 사용자의 손동작을 인식하고 가상 오브젝트를 조작하는 것이 가능하다[2]. 따라서 모션캡처 시스템은 사용자가 간단한 방식으로 실시간 애니메이션을 즉시 생성할 수 있게 함으로써 가상 캐릭터의 동작을 제어하기 위한 해결책을 제공한다. 모션캡처를 이용하여 가

상 캐릭터의 모션을 생성하는 것은 바디 조인트의 각도를 시간에 따른 각도 및 위치 데이터로 변환하는 기술이다. 이것은 인간의 움직임에서 직접 데이터를 추출하기 때문에 매우 자연스럽다. 그러나 모션캡처 기법을 사용하여 전신을 촬영하는 것은 여전히 비싼 시스템을 필요로 하며 특히 물리적으로 움직이는 오브젝트의 모션을 생성하는 것은 불가능하다. 즉, 사용자의 실제 움직임을 그대로 애니메이션에 적용할 수 있다는 장점이 있지만, 축구공을 찬다거나 다른 캐릭터와의 상호작용 같은 특정 동작을 표현하기 위해서는 숙련된 배우가 필요하다.

본 연구에서는 오브젝트와 캐릭터 사이의 물리적인 상호작용을 고려하여 사용자가 가상 세계에서 자연스럽게 오브젝트를 조작할 수 있는 가상 아바타의 모션 생성 방법을 제안한다. 현실 세계에서 볼을 다루려면 높은 수준의 강도 높은 훈련이 필요하다. 따라서 숙련된 선수가 되기 위해서는 상당한 시간의 노력이 필요하다. 특히 모션캡처 장치만 사용하여 가상의 오브젝트를 조작하는 것은 실제 세계에서 오브젝트를 다루는 것보다 더 어렵다. 우리의 방법은 다음과 같은 네 가지 단계를 거쳐진다. 첫 번째 단계는 사용자의 동작을 분석하여 상호작용 정보를 생성하는 것이다. 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 분석된

---

\*First Author: Jong-In Choi, Corresponding Author: Jong-In Choi  
\*Jong-In Choi (gameai@ysu.ac.kr), School of Digital Culture & Contents, Youngsian University.  
• Received: 2018. 10. 25, Revised: 2018. 12. 10, Accepted: 2018. 12. 17.  
• This work was supported by a 2018 research grant from Youngsian University, Republic of Korea.

모션의 정보를 이용하여 타격 클립을 생성하는 것이다. 세 번째 단계는 타격 클립을 연결하여 캐릭터의 동작을 생성하는 것이다. 이때 모션 센서로 입력된 사용자의 타격 모션과 가장 일치하는 타격 클립이 실시간으로 선택된다. 마지막 단계는 물리 법칙을 따르면서 캐릭터의 모션과 동기화되는 오브젝트의 이동 경로를 실시간으로 생성하는 것이다. Fig. 1은 우리 시스템의 개요도를 보여준다. 빨간색 부분은 실시간으로 처리되는 것을 의미하고, 나머지 부분은 선처리 부분으로 미리 계산된다. 우리 방법의 효과를 확인하기 위해 우리는 사용자가 잘 훈련된 운동 선수의 역할을 할 수 있는 장면을 만들어 다른 가상 캐릭터와 오브젝트를 주고받는 실험을 수행하였다.

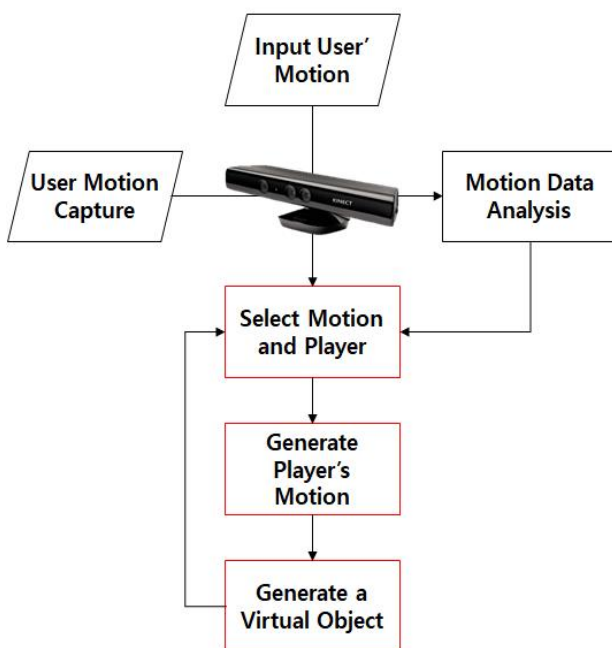


Fig. 1. System Overview

## II. Related Works

물리적 환경에 능동적으로 반응하는 가상 캐릭터의 동작을 디자인하는 것은 컴퓨터 애니메이션에서 지속적으로 수행되고 있는 주제이다. 연구 관점에서 볼 때, 캐릭터 모션 생성에 관한 연구 분야는 다양한 분야가 있다. 우리의 연구는 예제 기반의 캐릭터 애니메이션과 물리 기반의 강체 애니메이션을 결합한 융합 연구이다. 우리는 모션캡처 데이터로부터 오브젝트의 이동 경로를 생성하고 아바타의 동작을 합성하여 여러 객체를 처리한다. 우리는 모션 센서로부터의 사용자 모션을 입력받아 아바타의 모션을 생성한다. 오브젝트의 움직임과 캐릭터의 움직임 사이의 상호 작용을 수동으로 편집하는 방법을 제안한 연구가 있었다[1]. 오브젝트의 이동 경로와 캐릭터의 포즈는 각각

편집할 수 있으며 오브젝트의 이동 경로는 오브젝트와 캐릭터 사이의 충돌을 검사하여 수정할 수 있다. 사용자가 인터랙션 동작을 수동으로 편집하기 때문에 이 방법은 세밀한 모션의 제어를 제공하지만, 많은 시간과 노력이 필요하다. 우리의 방법은 캐릭터의 움직임을 전혀 수정하지 않는다. 대신, 우리는 캐릭터의 움직임에 따라 반응하는 오브젝트의 이동 경로를 생성한다.

우리는 모션 데이터를 분석하여 오브젝트의 이동 경로를 생성하는데 필요한 정보를 추출한다. 모션캡처 데이터의 분석은 캐릭터의 움직임을 음악에 맞추기 위한 연구에 사용되었다. [2]는 사람의 동작에서 일반적인 패턴을 추출하고 음악의 리듬에 따라 춤을 추는 캐릭터를 생성하였다. [3]은 사람의 동작을 비트의 강약에 의해 분류하여 입력된 음악과 동기화된 춤 동작을 생성한 연구가 있었다. 우리는 모션캡처 데이터를 분석하여 객체의 이동 경로를 생성하기 위한 정보로 사용하였다. 물리 법칙에 따라 강체의 이동 경로를 생성하는 연구가 있었다[4,5]. 그들은 여러 가지 제약 조건 하에서 이동 경로를 최적화하여 강체의 초기 위치와 속도를 계산하여 자연스럽게 움직이는 오브젝트를 생성하였다. 우리는 캐릭터와 시공간적으로 동기화될 볼의 이동 경로를 이와 유사한 방식으로 생성하였다.

사용자의 입력을 통해 캐릭터의 움직임을 제어하는 다양한 방법들이 연구되어 왔다. [6,7]에서는 연결된 동작 그래프를 생성하고 사용자가 지정한 방향 및 목표 위치로 이동하는 캐릭터를 생성하였다. [8]에서는 유사한 동작을 효과적으로 혼합하여 보다 세부적인 사용자 제어를 가능하게 하였다. 예를 들어, 캐릭터는 목표 위치에 정확하게 도달하거나 목표물을 주먹으로 정확히 타격할 수 있다. [9]에서는 캐릭터의 이동 경로를 편집하고 캐릭터가 편집된 경로를 따라 움직이도록 하였다. [10]에서는 일반적인 포즈에 대한 연결 정보를 생성하여 캐릭터를 쉽게 제어할 수 있도록 하였다. 예를 들어, 격투 게임에서 발로 차고 펀치를 날린 후, 아이들 상태로 복귀하는 등의 동작에 사용될 수 있다. [11,12]에서는 스케치 기반의 사용자 입력을 통해 세부적으로 제어되는 캐릭터의 움직임을 생성하였다. 사용자는 전자 펜으로 일반적인 걷기, 조심스럽게 걷기, 행진 및 뛰기와 같은 다양한 움직임과 이동 경로를 그릴 수 있다. [13,14]에서는 강화학습을 사용하여 사용자 입력에 보다 신속하고 효과적으로 반응하는 캐릭터를 만들었다. [15]에서는 사용자가 지정한 동적 환경에서 캐릭터 이동을 효과적으로 수행하여 목표에 도달할 수 있도록 하였다.

게임 업계의 동향을 살펴보면, 렌더링 품질뿐 아니라 캐릭터 애니메이션의 품질에도 신경을 쓰기 시작했다는 것을 알 수 있다. IO 인터랙티브에서 만든 히트맨 시리즈는 [16]에서 제안한 캐릭터 애니메이션의 최신 기법을 도입하여 보다 사실적으로 움직이는 군중 시뮬레이션을 구현했다. 상대적으로 느린 반응성으로 인해 주요 캐릭터에 적용하지는 못했지만, 실감나는 군중을 만드는데 있어서는 매우 만족스러운 결과를 생성하였다. 최근 유비소프트에서는 [6, 17]에서 제안된 개념을 활용하여 끊임없이 부드럽게 이어지는 캐릭터의 연결 동작을 생성하는

모션 매칭[18]이라는 기법으로 지금까지 게임 업계에서 보지 못했던 훌륭한 결과를 보여주었다. 본 연구에서도 이와 유사한 기법을 이용하여 선수들의 모션을 생성하였다.



Fig. 2. Used Hit Motions.

## II. The Proposed Scheme

우리는 모션캡처 데이터를 이용하여 운동선수가 볼을 다루는 모션을 생성한다. 선수들의 모션을 간단히 생성할 수 있도록 하기 위해, 실제로 볼을 다루지 않고 영상을 보면서 비슷하게 흉내 내는 모션을 사용한다. 우리는 키넥트를 이용하여 족구를 위한 세 종류의 모션을 캡처하였다. 첫 번째는 토스 모션으로 볼을 가까운 상대에게 패스하는 것이다. 두 번째는 패스 모션으로 볼을 비교적 먼 거리에 있는 상대에게 패스하는 것이다. 세 번째는 공격 모션으로 볼을 강하게 타격하여 상대가 볼을 받기 어렵게 하는 것이다. Fig. 2는 우리가 사용한 캐릭터의 모션들을 보여준다. 좌측 상단부터 시계방향으로 아이들 포즈, 토스 모션, 공격 모션, 패스 모션을 보여준다. 우리는 캡처된 모션을 분석하여 타격 클립을 찾는다. 다음으로 모션 센서로부터 입력받은 사용자의 모션과 유사한 타격 클립을 찾는다. 검색된 타격 클립들을 입력 순서대로 연결시켜주면 선수의 모션이 생성된다. 마지막으로 선수의 모션에 맞춰 물리적으로 최적화된 오브젝트의 움직임을 계산하면 오브젝트를 다루는 선수가 생성된다.

### 1. Analyzing Motion Data

우리의 방법은 실제로 볼을 다루지 않으므로, 캡처한 모션을 분석하여 볼을 타격할 수 있는 후보 구간인 “타격 후보 구간”을 찾아 볼의 이동 궤적 계산에 사용한다. 우선 타격 본의 위치

가 주변에 비해 높은 지점인 “최대 높이 프레임”을 찾는다. 최대 높이 프레임을 찾기 위해 모션의 모든 프레임에서 타격 본의 높이를 검사한다. 사용자가 임계 높이를 지정해 주고, 타격 본이 그 이상의 높이를 갖는 프레임을 모두 찾는다. 다음으로 주변에 비해 빠른 속도를 갖는 프레임인 “최대 속도 프레임”을 모두 찾는다. 최대 속도 프레임을 찾기 위해 모션의 모든 프레임에서 타격 본의 속도를 검사한다. 이 때 주의할 것은 최대 속도 프레임이 매우 근접해서 나타날 수 있다는 것이다. 이런 경우는 대개 발로 볼을 친 후에 발이 다시 제자리로 돌아가는 순간이다. 이를 효과적으로 방지하기 위해 서로 이웃하는 최대 속도 프레임의 구간에서 최대 속도를 갖는 프레임 하나만 선택한다. 마지막으로 서로 이웃하는 최대 속도 프레임과 최대 높이 프레임 사이의 구간이 “타격 후보 구간”이 된다.

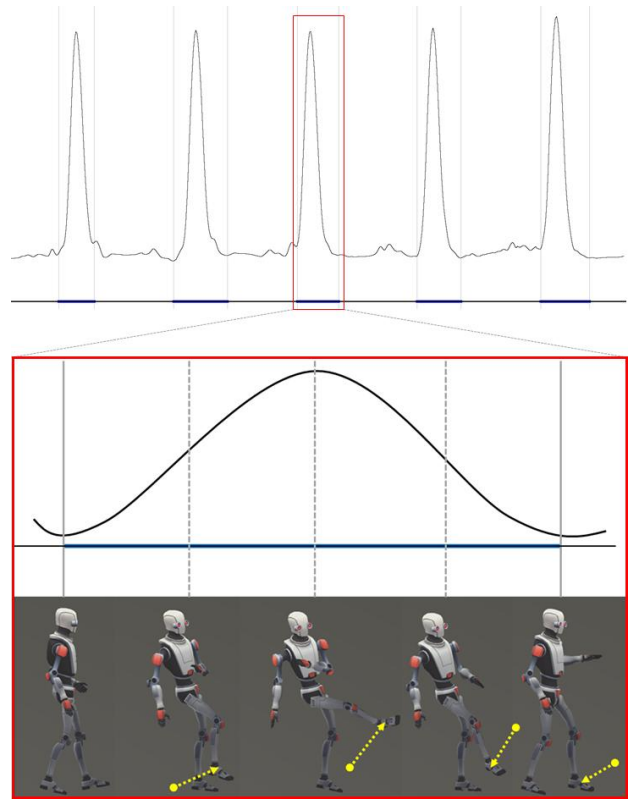


Fig. 3. Representative Frames and Motion Vectors of a Hit Clip

본 연구에서는 사용자의 모션을 이용하여 캐릭터의 모션을 결정하기 때문에, 사용자의 모션과 비교할 부분적인 타격 모션인 “타격 클립”을 미리 찾아 놓는다. 우리는 타격 본의 움직임을 단순화시킨 모션 벡터를 타격 클립과 한 쌍으로 저장한다. 이를 위해 우선 타격 본이 볼을 타격하는 동안에 나타나는 특징적인 프레임들을 찾는다. 이 프레임들은 각각 볼을 타격하기 이전 정지 상태에서의 프레임, 최대 높이 프레임, 볼을 타격한 이후 정지 상태에서의 프레임이다. 다음으로 이 세 프레임에서 서로 이웃하는 두 프레임의 구간에서 중간 프레임을 계산한다. 중간 프레임의 위치를 찾기 위해서는 해당 구간에서 타격 본의 속도가 최대가 되는 프레임을 선택해 준다. 그러면 타격 클립을 대표하는 다섯 개의 대표 프레임이

선택된다. 대표 프레임들에서 각 프레임마다 타격 본의 위치를 찾은 후, 이전 대표 프레임의 타격 본의 위치에서 다음 대표 프레임의 타격 본의 위치를 이어주면 타격 본의 모션 벡터가 생성된다. 이러한 방식으로 총 네 개의 모션 벡터가 생성된다. Fig. 3의 상단 이미지는 타격 본의 높이 그래프를 보여준다. 파란색 가로선은 타격 클럽의 구간을 의미한다. Fig. 3의 하단 이미지는 하나의 타격 클럽에서 생성된 네 개의 모션 벡터를 보여준다.

## 2. Generating Athletic Motion

본 연구에서는 사용자의 모션을 이용하여 스포츠 경기 장면의 애니메이션을 실시간으로 생성한다. 이를 위해 우선 사용자가 모션 센서 앞에서 볼을 다루는 동작을 취한다. 그러면 이로부터 모션 벡터가 실시간으로 생성되고, 사용자의 모션 벡터와 가장 유사한 모션 벡터를 갖는 타격 클럽이 선택된다. 두 타격 클럽간의 연결을 위해 우리는 [18]과 유사한 방법을 사용한다. 이는 실시간으로 모션을 연결시켜 주는 매우 빠르고 효과적인 방법이다. 우리는 두 타격 클럽을 직접 연결시키지 않는다. 대신 타격 클럽에 이어져 있는 프레임들 중에 가장 유사한 포즈를 갖는 두 프레임을 기준으로 연결시킨다. 타격 클럽의 연결을 위해서는 우선 타격 프레임에서 다른 타격 프레임까지 이어지는 시간을 계산해야 한다. 이것은 볼이 이동하는 시간과 정확히 일치한다. 그러므로 볼의 이동 궤적이 생성되면 볼의 이동 시간을 이용하여 타격 클럽을 연결시킬 수 있다. Fig. 4는 두 타격 클럽을 연결하는 방법을 보여준다. 입력된 사용자의 모션으로부터 모션 벡터를 생성하는 방법은 이전 장에서 소개한 방법과 유사하다. 다만 사용자의 모션에서는 하나의 타격 클럽에 대한 정보에 해당하는 4개의 모션 벡터만 추출한다. 그러면 해당 모션 벡터와 가장 유사한 모션 벡터를 갖는 타격 클럽이 선택되고 이를 순차적으로 연결시키면 선수의 모션이 생성된다.

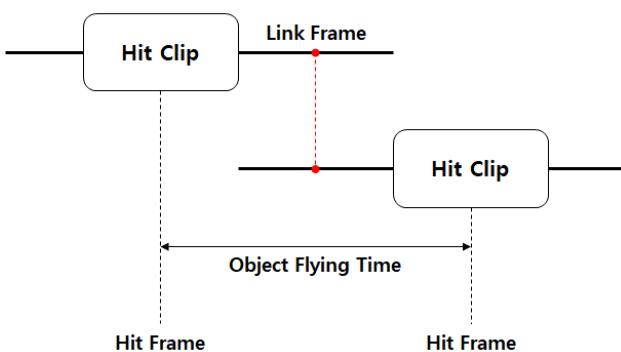


Fig. 4. Hit Clip Connection

## 3. Generating Object Trajectory

볼의 이동 궤적을 생성하기 위해서는 볼의 출발 지점과 도착 지점을 계산해야 한다. 볼의 출발과 도착 지점은 볼을 타격하는 프레임인 “타격 프레임”에서 타격 본의 위치와 동일하다. 우선 볼을 패스할 대상이 되는 선수를 선택한다. 우리는 먼저 스포츠 경기에서 선수들의 패스 순서를 지정한다. 다음으로 볼의 출발 지점을 결정하기 위해 타격 클럽의 타격 후보 구간에 있는 모

든 프레임에서 볼의 이동 궤적을 계산한다. 타격 후보 구간에서 가능한 모든 볼의 이동 궤적을 모두 생성한 후, 볼을 받을 선수의 방향과 위치에 가장 근접하는 이동 궤적이 생성되는 프레임을 타격 프레임으로 지정한다. 우리는 볼의 이동 궤적 생성을 위해 중력, 바운드 회수, 공기 저항, 탄성 계수 등의 다양한 물리 속성들을 지정하였다. 우리는 [4]의 방법과 유사하게 뉴턴의 법칙을 기반으로 이동 에너지를 최소화시키는 방향으로 경사하강법을 적용하여 오브젝트의 이동 궤적을 계산하였다. Fig. 5는 볼의 이동 궤적을 생성하는 방법을 보여준다. 우선 타격 후보 구간에서 볼이 날아갈 수 있는 방향을 모두 계산한다. 그림에서 타격 방향은 하늘색 선으로 표시하였고, 검은 곡선들이 볼이 실제로 움직이는 궤적들이다. 볼의 도착 위치와 캐릭터 사이의 거리 및 방향을 고려하여 가장 적당한 이동궤적을 선택한 후, 선택된 궤적을 다음 선수의 타격 본의 위치에 정확히 맞춰준다. 그러면 최종적으로 빨간 곡선으로 표시된 볼의 이동 궤적이 생성된다.

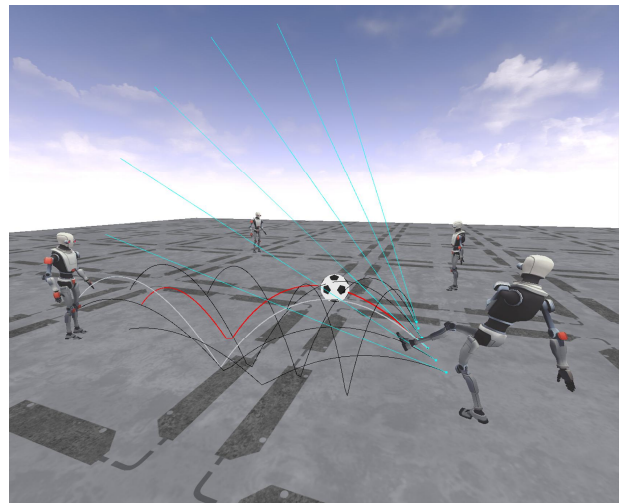


Fig. 5. Object Trajectory Generation

## IV. Experimental Results

우리는 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 여러 선수들이 스포츠 경기를 플레이하는 장면을 생성하였다. 본 연구에서 경기장면 생성을 위해 키넥트 모션센서 한 대와 인텔 코어 7700K CPU, 엔비디아 지포스 1060 GPU, 32GB 램이 장착된 컴퓨터 한 대를 이용하였다. 두 명 이상의 다수의 캐릭터에 대해서 우리의 방법은 효과적으로 스포츠 경기장면을 생성할 수 있었다. Fig. 7은 본 연구의 방법을 이용하여 생성된 결과 화면이다. 결과 애니메이션 생성을 위해 볼의 패스 순서, 바운드 회수 등을 지정한 후, 모션 센서를 통해 사용자의 모션을 입력 받아 캐릭터의 모션을 지정하였다. 우리는 공기 저항, 탄성계수, 중력, 패스당 바운드 회수 등의 물리 파라미터를 적절히 지정하

여 최적의 실험환경을 구축하였다. 볼을 패스하는 상대를 지정하기 위해 우리는 오른 손을 이용하여 선수를 선택할 수 있도록 하였다. 모션 센서로 오른손의 움직임을 감지하도록 하여 화면상의 커서를 이동시키고, 원하는 선수 위에서 오른손을 앞으로 밀면 볼을 받을 선수가 선택된다. 선택된 선수를 취소하고 싶은 경우, 우측 손을 빠르게 2회 이상 좌우로 흔들어 주면 선택이 취소된다. 바운드 회수는 왼손을 이용하여 지정할 수 있다. 우측 손과 마찬가지로 좌측 손을 앞으로 밀면 볼의 바운드 회수를 지정할 수 있으며 좌우로 2회 이상 손을 빠르게 흔들면 바운드 회수가 0으로 리셋된다. 우리는 이러한 직관적인 NUI 시스템을 구축하여 편리하게 스포츠 경기장면을 생성할 수 있도록 하였다. Fig. 6은 사용자가 본 연구에서 제안한 시스템을 이용하여 실제로 경기장면을 생성하는 모습이다. Fig. 7은 네명의 캐릭터를 정사각형 형태로 배치하여 생성한 축구 경기장면 결과이다. 모든 선수들을 랜덤하게 선택하여 원하는 방향으로 자유롭게 패스하거나 공격하는 장면을 생성하였다. 축구 경기에서 사용된 캐릭터의 개수, 위치, 방향 등은 본 연구의 실험을 위해 제작된 툴을 이용하여 지정하였다.



Fig. 6. Input User's Hit Motion



Fig. 7. Generated Athletic Scene (2 on 2)

## V. Discussion and Conclusions

본 연구에서는 사용자의 모션을 이용하여 여러 선수들이 협력적으로 스포츠 경기를 플레이하는 장면을 생성하는 시스템을 설계 및 구현하였다. 실제로 볼을 사용하지 않고 흉내내기 동작을 사용하므로 볼을 다루는 동작이 다소 부자연스러워 보일 수 있다. 그러나 우리의 방법은 키넥트와 같은 보급형 모션 센서를 사용하여 그럴듯한 경기장면을 빠르게 생성할 수 있다. 아이들 상태에서 볼이 있는 방향을 쳐다본다든지, 볼이 있는 쪽으로 몸을 향하도록 한다면, 보다 사실성을 끌어 올릴 수 있을 것이다.

본 연구에서는 선수들의 모션을 제자리 회전 및 타격 모션으로 한정하였는데, 이는 보급형 모션 센서인 키넥트의 모션 캡처 성능의 한계 때문이다. 키넥트로 빠른 모션이나 이동거리가 긴 모션을 캡처하기가 어렵다. 전문적인 모션 캡처 장비를 이용한다면 보다 역동적인 타격 모션이 가능할 것이다. 또한 역동적인 타격 모션을 자동으로 분석하기에는 어려운 부분이 있다. 가령 빠르게 움직이는 프레임을 찾았는데 그것이 볼을 타격하는 순간이 아닌 빠르게 이동하는 순간이 될 수도 있다. 이를 해결하려면 타격 프레임의 후보를 자동으로 검색해서 나열한 후, 사용자가 선택할 수 있도록 하면 해결 되겠지만, 별도의 수작업이 필요하다. 향후 전문적인 모션캡처 장비를 이용하여 보다 역동적이고 다양한 선수들의 모션을 이용하면 실감나는 경기장면을 생성할 수 있을 것이다.

우리는 축구를 예로 들어 우리의 방법을 설명했지만 테니스, 탁구, 배구 등 여러 스포츠 경기에 우리의 방법을 적용할 수 있다. 우리의 방법에 실제 운동선수의 모션을 이용한다면 보다 높은 품질의 경기장면을 생성할 수 있을 것이다. 또한 다양한 인공지능 기법을 활용한 인공지능 캐릭터를 생성하는 것도 의미 있는 연구 주제가 될 것이다. 캐릭터가 스스로 스포츠 경기의 규칙을 인식하여 플레이할 수 있도록 하는 일은 매우 흥미로운 것이다.

## REFERENCES

- [1] S. Jain and C.K. Liu, "Interactive synthesis of human-object interaction," Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, SCA'09, New York, NY, USA, pp.47-53, ACM, 2009.
- [2] T.h. Kim, S.I. Park, and S.Y. Shin, "Rhythmic-motion synthesis based on motion-beat analysis," ACM SIGGRAPH 2003 Papers, SIGGRAPH '03, pp.392-401, 2003.
- [3] T. Shiratori, A. Nakazawa, and K. Ikeuchi, "Dancing-to-music character animation.," Comput.

- Graph. Forum, vol.25, no.3, pp.449-458, 2006.
- [4] J. Popovic, S.M. Seitz, M. Erdmann, Z. Popovic, and A. Witkin, "Interactive manipulation of rigid body simulations," Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '00, pp.209-217, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000.
- [5] J. Popovic, S.M. Seitz, and M. Erdmann, "Motion sketching for control of rigid-body simulations," ACM Trans. Graph., vol.22, no.4, pp.1034-1054, Oct. 2003.
- [6] L. Kovar, M. Gleicher, and F. Pighin, "Motion graphs," Proceedings of the 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '02, New York, NY, USA, pp.473-482, ACM, 2002.
- [7] J. Lee, J. Chai, P.S.A. Reitsma, J.K. Hodgins, and N.S. Pollard, "Interactive control of avatars animated with human motion data," Proceedings of the 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '02, New York, NY, USA, pp.491-500, ACM, 2002.
- [8] R. Heck and M. Gleicher, "Parametric motion graphs," Proceedings of the 2007 Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, I3D '07, New York, NY, USA, pp.129-136, ACM, 2007.
- [9] M. Gleicher, "Motion path editing," Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics, I3D '01, New York, NY, USA, pp.195-202, ACM, 2001.
- [10] M. Gleicher, H.J. Shin, L. Kovar, and A. Jepsen, "Snap-together motion: Assembling run-time animations," ACM SIGGRAPH 2008 Classes, SIGGRAPH '08, New York, NY, USA, pp.52:1-52:9, ACM, 2008.
- [11] M. Thorne, D. Burke, and M. van de Panne, "Motion doodles: An interface for sketching character motion," ACM SIGGRAPH 2006 Courses, SIGGRAPH '06, New York, NY, USA, ACM, 2006.
- [12] M. Guay, R. Ronfard, M. Gleicher, and M.P. Cani, "Space-time sketching of character animation," ACM Transactions on Graphics, vol.34, no.4, p.Article No. 118, Aug. 2015.
- [13] J. Lee and K.H. Lee, "Precomputing avatar behavior from human motion data," Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, SCA '04, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, pp.79-87, Eurographics Association, 2004.
- [14] S. Levine, J.M. Wang, A. Haraux, Z. Popovic, and V. Koltun, "Continuous character control with low-dimensional embeddings," ACM Trans. Graph., vol.31, no.4, pp.28:1-28:10, July 2012.
- [15] S. Levine, Y. Lee, V. Koltun, and Z. Popovic, "Space-time planning with parameterized locomotion controllers," ACM Trans. Graph., vol.30, no.3, pp.23:1-23:11, May 2011.
- [16] A. Treuille, Y. Lee, and Z. Popovic, "Near-optimal character animation with continuous control," ACM SIGGRAPH 2007 Papers, SIGGRAPH '07, New York, NY, USA, ACM, 2007.
- [17] Y. Lee, K. Wampler, G. Bernstein, J. Popovic, and Z. Popovic, "Motion fields for interactive character locomotion," ACM Trans. Graph., vol.29, no.6, pp.138:1-138:8, Dec. 2010.
- [18] S. Clavet, "Motion matching," Game Developer Conference 2016, 2016.

### Authors



Jong-In Choi received the Ph.D. in Korea University in 2016 from the Department of Computer Science and Engineering from Korea University. He joined Nexon Korea as a lead client programmer. He also has worked at NCSOFT Korea R&D and AI

Center. Now he is a professor at the major of game contents in Youngsan University.