

Implementation of a Transition Rule Model for Automation of Tracking Exercise Progression

Daniel Chung[†] · Ilju Ko^{††}

ABSTRACT

Exercise is necessary for a healthy life, but it is recommended that it be conducted in a non-face-to-face environment in the context of an epidemic such as COVID-19. However, in the existing non-face-to-face exercise content, it is possible to recognize exercise movements, but the process of interpreting and providing feedback information is not automated. Therefore, in this paper, to solve this problem, we propose a method of creating a formalized rule to track the contents of exercise and the motions that constitute it. To make such a rule, first make a rule for the overall exercise content, and then create a tracking rule for the motions that make up the exercise. A motion tracking rule can be created by dividing the motion into steps and defining a key frame pose that divides the steps, and creating a transition rule between states and states represented by the key frame poses. The rules created in this way are premised on the use of posture and motion recognition technology using motion capture equipment, and are used for logical development for automation of application of these technologies. By using the rules proposed in this paper, not only recognizing the motions appearing in the exercise process, but also automating the interpretation of the entire motion process, making it possible to produce more advanced contents such as an artificial intelligence training system. Accordingly, the quality of feedback on the exercise process can be improved.

Keywords : Transition Rule, Movement Tracking, Exercise Progression, Key Frame Postures, Automation

운동 과정 추적의 자동화를 위한 전이 규칙 모델의 구현

정 다 니 엘[†] · 고 일 주^{††}

요 약

운동은 건강한 삶의 영위에 필요하지만 코로나19와 같은 전염병 유행 상황에서 비대면 환경에서 진행되는 것이 권장된다. 그러나 기존의 비대면 방식의 운동 콘텐츠에서는 운동 동작의 인식은 가능하지만 이를 해석해서 피드백 정보를 제공해주는 과정이 자동화되지 않았기 때문에 피드백이 트레이너의 눈대중으로 이루어지는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 운동 내용 및 이를 구성하는 동작을 추적하기 위해 공식화된 규칙을 만드는 방법을 제안한다. 이러한 규칙을 만들기 위해서는 전체적인 운동 내용의 진행 규칙을 먼저 만들고, 운동을 구성하는 동작의 추적 규칙을 만든다. 동작의 추적 규칙은 동작을 여러 단계로 나누고 단계를 나누는 키 프레임 자세를 정의하는 것에서 출발하여 키 프레임 자세로 대표되는 상태와 상태 간의 전이 규칙을 만들으로써 생성될 수 있다. 이렇게 생성한 규칙은 모션 캡처 장비를 이용한 자세 및 동작 인식 기술의 사용을 전제로 하며 이러한 기술 적용의 자동화를 위한 논리적인 전계에 사용된다. 본 논문에서 제안한 규칙을 사용하면 운동 과정에서 나타나는 동작을 인식하는 것뿐만 아니라 동작의 전 과정에 대한 해석의 자동화가 가능하여 인공지능 트레이닝 시스템 등 보다 진보된 콘텐츠 제작이 가능해진다. 이에 따라 운동 과정에 대한 피드백의 질을 높일 수 있다.

키워드 : 전이 규칙, 움직임 추적, 운동 과정, 키 프레임 자세, 자동화

1. 서 론

운동은 건강한 삶의 영위에 필요하지만 원활한 운동을 위해서는 대면 환경에서 트레이너의 피드백을 받는 것이 좋다. 그러나 코로나19와 같은 전염병 유행 상황에서는 대면 행위

로 인한 감염의 확산 우려가 있어 대면 활동을 최소화하는 사회적 거리두기가 필요하며[1], 운동 또한 비대면 방식이 권장된다. 따라서 운동 콘텐츠 또한 비대면 방식으로 운동이 가능하도록 운동 내용을 온라인으로 제공하고 필요 시 주요 운동 동작을 어떻게 해야 하는지에 대한 시범 영상을 포함한다[2]. 운동에 대한 피드백은 트레이너에게 실시간 영상 또는 녹화된 영상물을 보여줌으로써 트레이너가 영상을 보고 온라인으로 운동 수행자에게 제공해주는 형식으로 이루어진다. 그러나 피드백 과정은 전적으로 트레이너의 영상을 보고 눈대중

[†] 준 회 원 : 숭실대학교 정보통신소재융합학과 석 · 박사통합과정

^{††} 종신회원 : 숭실대학교 글로벌미디어학부 교수

Manuscript Received : October 20, 2021

Accepted : December 14, 2021

* Corresponding Author : Ilju Ko(andy@ssu.ac.kr)

으로 이루어지므로 대면 환경에서처럼 구두와 몸짓, 심지어는 트레이너가 직접 운동 수행자의 몸을 만져주는 방식 등의 세밀한 피드백을 제공해주기 어렵다. 이렇게 비대면 운동 콘텐츠에서의 피드백의 한계를 극복하기 위하여 비대면 환경에서도 대면 환경에서처럼 세밀한 피드백을 제공할 수 있도록 고민해야 하며, 그 중 하나로 기존에 연구되어 왔던 동작 추적 기술을 사용하여 시범 동작을 따라할 수 있도록 유도하고 잘 따라 하는지 피드백을 주는 방식을 사용할 수 있다.

동작은 시간에 따른 자세의 변화이므로 동작 감지 및 분석의 가장 원초적인 방법은 동작 과정에서 발생하는 모든 프레임들을 대상으로 조사하는 것이다[3]. 그러나 같은 동작이라도 사람에 따라, 동작을 재현하는 시점에 따라 모든 프레임에 걸쳐 정확하게 일치할 수 없으며[4], 동작을 탐지하는 모션 캡처 시스템이 자체적으로 가진 특성이나 오류, 측정 오차 등으로 인하여[5] 같은 자세에 대한 신체 골격을 추출하더라도 추출 시점에 따라 서로 다른 골격 정보가 도출될 수 있다. 이처럼 동작을 분석하기 위해 모든 프레임을 대상으로 조사하는 것은 비효율적이며 동작에 따라 중요시되는 신체 부위를 집중적으로 조사하거나 대략적인 동작 추이를 살펴보기 위해 각 프레임 정보를 수학적 방법으로 압축해서 표현하는 인코딩 표현을 사용할 수 있다[6]. 동작 분석을 위해서 사용할 수 있는 또 다른 방법으로 동작 과정에서 중요하다고 판단되는 핵심 자세인 키 프레임들을 정의하여[7-9] 키 프레임에서 표현된 자세의 일치 정도를 알아내서 이를 바탕으로 동작을 잘 따라하는지 판단하는 것이다. 기존의 방법에서는 움직이는 모양의 변화와 직관적인 판단에 의하여 키 프레임을 선정하였으나, 본 논문에서는 체육학적인 동작의 구분 근거에 의해 단계를 나누고 각 단계에 진입하기 시작하는 자세를 키 프레임으로 사용한다[10]. 동작 단계를 나누는 기준은 [11]에 상세히 서술되어 있다.

이렇게 동작을 키 프레임을 중심으로 단계별로 분석하게 되면 동작 분석을 위해 비교해야 하는 데이터의 양이 줄어든다. 키 프레임은 단계 구분의 기준이 되므로 하나의 상태로 취급할 수 있고 다음 키 프레임으로의 전환 과정을 상태 전이로 볼 수 있다. 특히 일반인을 대상으로 건강 및 체력 증진을 위한 운동들은 핵심적인 몇 가지 동작을 중심으로 반복되는 동작 패턴들이 등장하므로 이러한 상태 전이 모델의 사용을 용이하게 만든다[11]. 동작을 구성하는 키 프레임을 하나의 문자로 취급하면 동작을 표현하는 키 프레임들을 단계별로 나열한 것은 문자열이 되고, 이러한 문자열을 받아들이는 상태 전이 기계를 만들어서 반복되는 동작 추적 과정을 정의할 수 있다. 이처럼 동작 추적 과정을 정규화할 수 있으므로 상태 전이 기계의 사용은 반복되는 동작들이 많이 등장하는 운동 과정 추적에도 도움을 준다. 이렇게 정의된 상태와 상태 전이를 이용하면 동작 추적 과정에 대한 수학적 표현이 가능하며 이것을 동작 추적 문법, 즉 동작을 추적하기 위한 규칙이라고 정의한다. 여기서 동작 추적을 위해 사용하는 키 프레임들은 자세가 되며 이러한 자세에 대한 표현 규칙을 정의할 수 있다. 이러한 자세들을 모아서 사전으로 만들어 데이터베

이스화 할 수 있다. 동작이 맞는 지 받아들이는 상태 전이 기계를 정의함으로써 동작 표현을 정규화할 수 있고 이를 이용하여 동작 추적에 대한 규칙을 만듦으로써 동작에 대한 구조를 형성할 수 있다. 이처럼 동작 표현의 정규화를 통해 일관된 방식으로 동작을 설계할 수 있으며, 이러한 동작들의 모임을 사전화하여 운동 과정에 사용하기 위한 동작들에 대한 정보를 데이터베이스화할 수 있다. 위에서 정의된 동작들을 이용하여 사용하는 운동 과정도 사용하고자 하는 동작만 정해 주면 되며, 더 나아가 운동 과정의 패턴을 정의하여 정규화할 수 있다. 운동 과정을 정의한 다양한 종류의 패턴들은 사전화되고 데이터베이스화 될 수 있다.

2. 관련 연구

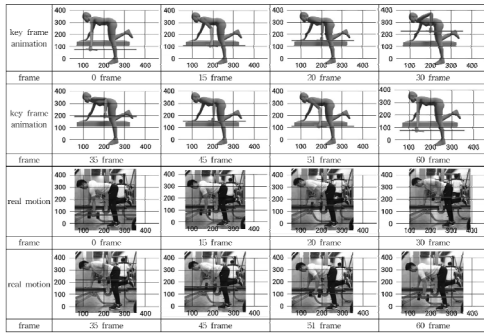
2.1 동작 표현 방식

동작 과정을 기록하고 재현하는 방식에는 키 프레임 애니메이션과 라바노테이션, 쿼터니온 맵이 있으며 그 형태는 Fig. 1과 같다. 키 프레임 애니메이션은 동작 과정에서 일정 프레임 간격으로 키 프레임을 설정해주고, 키 프레임 사이의 프레임을 보간법을 통해 자동으로 계산하여 동작을 생성하는 방식이다[12]. 생성된 동작은 반복된 동작 수행 시, 처음과 이후의 동작이 모두 완벽하게 동일하다는 특징을 가진다. 라바노테이션은 1928년에 무용가이자 무용이론가인 루돌프 폰 라반(Rudolf von Laban)에 의해 만들어진 무용 기록법이자 동작 기록법이다. 그는 기존의 무용 기록법의 한계를 벗어나 몸의 부위들과 함께 모든 동작을 기록할 수 있는 체계의 필요성을 느끼고 새로운 동작 기록법을 만들었으며 현재까지 인간의 동작을 묘사하는 정확하고 간결한 언어로 평가되고 있다[13]. 쿼터니온 맵은 기존의 키 프레임 애니메이션 방식과 무용 기보 방식인 라바노테이션의 한계를 극복하기 위해 IMU (Inertial Measurement Unit) 센서를 사용하여 데이터를 얻고, 이미지의 형태로 기록할 수 있는 새로운 동작 표현 방식이다[4]. 먼저 위치의 이동이 없는 조건으로 한정하여 각 신체 부위의 회전 데이터를 얻기 위해 부위별 계층구조와 수식 계산과정을 정의하였다. 그리고 실시간 운동 수행 과정에서 센서를 부착하여 데이터를 얻은 다음 좌표계 변환을 거쳐 모델링에 적용하였다.

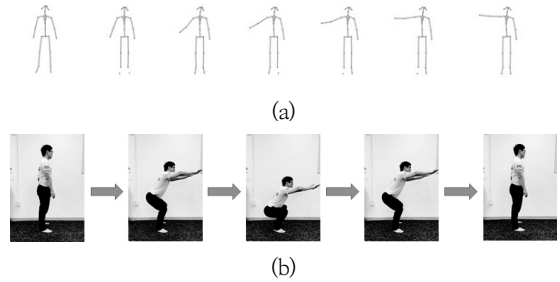
2.2 동작 추적 방법

동작 추적 방법에는 Fig. 2(a)와 같이 전체 프레임들을 통으로 보고 프레임 별로 비교하는 방법과 Fig. 2(b)와 같이 동작을 국면과 구간으로 나누고 각 구간에 해당되는 부분 동작들로 나누어서 분석하는 방법이 있다.

전체 프레임을 통으로 보는 방법은 다음과 같다. 그 중 대표적인 방법으로 이형구[3]의 연구가 있다. 여기서는 특정 자세나 연속동작 매칭 방법의 개발을 다루고 있다. 키벡스에서 추출한 스켈레톤을 저자가 정의한 자세 데이터 형식으로 변



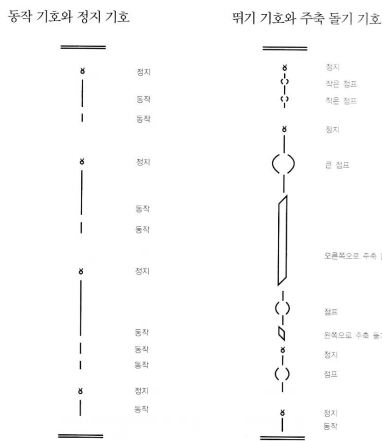
(a)



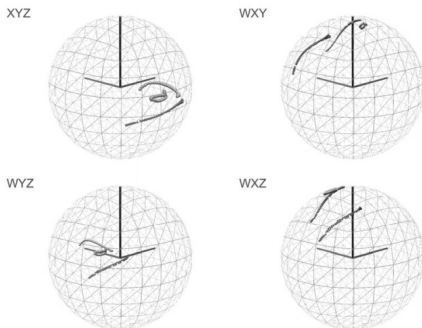
(a)

(b)

Fig. 2. Movement Tracking Methods: (a) Per-frame tracking, (b) Keyframe-based Step-by-step Tracking



(b)



(c)

Fig. 1. Movement Expression Methods: (a) Keyframe Animation, (b) Lavanotation, (c) Quaternion Map

환한 뒤 유효 관절을 위주로 기준이 되는 자세와 실제 사용자의 동작을 캡처한 자세를 각 관절의 각도의 차이가 일정 수준 이하이면 같은 자세로 취급한다. 일련된 연속 동작의 경우 연속동작이 정의된 여러 개의 프레임들 캡처한 프레임 시퀀스와 비교한다. 각 대응 프레임별로 자세를 비교하며, 일부 프레임에서의 자세가 매칭되지 않아도 대부분의 프레임에서의 자세가 매칭되면 같은 자세로 취급한다. 이 때 자세 비교를 위해 사용되는 연속되는 프레임들을 샘플링 큐라고 하며, 비교하기 위한 최대 프레임 수는 120개 (약 4초 분량) 이다. 부분 동작들로 나누어서 분석하는 방법은 효율적인 동작 분석을 위해서 이벤트와 이벤트 사이의 구간으로 나누는 방식을

사용한다[7-10]. 이 중에서 [10]의 시작-전환-끝 방식은 운동역학적 근거에 의하여 몸이 움직일 때 일어나는 주요한 상태로 이 세 가지 포지션을 이용하여 복잡한 동작 패턴의 기준을 정할 수 있다. 시작 포지션은 좋은 동작과 퍼포먼스를 위한 시작으로, 잘못된 시작 자세는 다른 포지션에 증폭된 영향을 준다. 전환 포지션은 한 종류의 운동을 다른 종류와 구분하는데 도움을 준다. 동작들 간의 주요한 유사점을 찾을 수 있게 하고 동작의 오류가 나오는 곳이며 관절의 포지션이 변화하는 순간이다. 끝 포지션은 시작과 전환 시에 어떠한 일들이 일어났는지 진단할 때 사용한다. 이처럼 주요 포지션들을 연구함으로써 모든 동작을 주요 파트로 나눌 수 있으며 동작을 배우는 최선의 방법은 동작을 구분지어 이해할 수 있다.

기존의 키 프레임 기반 동작 추적 방법은 유연성이 부족하다. 기준이 되는 키 프레임 자세를 표현한 신체 표현 방법을 그대로 사용하여 실시간 동작 과정에서 감지되는 자세와 비교하여야 하며, 사전에 정해진 대로 동작 추적을 해야 한다. 그러나 여러 가지 동작 과정에서 발생하는 공통적인 패턴을 찾고 이를 추적하는 상태 전이 기계를 정의하고 여기에 부합되는 규칙을 만들면 더 복잡한 동작 추적도 가능하다. 키 프레임 자세를 그대로 사용하는 대신 하나의 상태로 취급하며, 해당 상태에 놓여 있는지를 비교하는 비교 방법만 제시하면 동작 추적 과정은 상태와 상태 간의 전이로 표현될 수 있으며, 각 상태를 표현하는 특정 키 프레임 자세는 다른 동작에 대한 추적 과정에서도 재사용될 수 있고, 더 나아가 하나의 추상화된 동작 추적 규칙을 만들어 놓으면, 각 상태를 대표하는 키 프레임 자세에 관계없이 정규화된 방식의 동작 추적이 가능하다.

2.3 문법 기반 활동 추적 방법

본 논문의 연구 이전에도 상태 전이 모델을 기반으로 인간의 활동을 추적하는 연구들로 [14,15]가 있다. [14]는 영상에서 활동의 감지 및 시간적 분할에 사용하기 위한 약한 지도 학습 기법을 사용한다. 이 논문에서는 행동의 순서를 가정하는 기존의 약한 지도 학습 기반 활동 감지 기법 대신 행동 순서에 관계없이 감지하고자 하는 일련의 행동들의 정보인 작업 세트(action set)를 이용하여 영상의 시간적 흐름에 따라 어떤 활동을 했는지 표시하는 과정을 자동화하는 방법을 학습하는 시스템을 제안하였다. 순서가 고려되지 않는 행동 표

시 방법은 행동 표시를 위해 탐색해야 하는 공간이 순서가 고려된 경우에 비해 거대해지므로 탐색 공간을 최소화하기 위하여 문맥 무관 문법(context-free grammars)을 사용한다. [15]는 신체 활동을 확률적 문맥 무관 문법(probabilistic context-free grammars)으로 표현하는 방법을 제안하였다. 이러한 문법은 신체 활동을 기술한 모든 데이터 소스로부터 학습할 수 있도록 한다. 우선 학습 데이터 셋으로부터 각 데이터 포인트를 위한 시작 문자로부터 생성 규칙을 만들어서 초기 문법이 만들어진다. 초기 문법이 만들어지면 병합과 분할 연산을 반복함으로써 행동 탐색이 가능한 문법이 만들어진다. 또한 신체 행동의 사실적인 시퀀스를 모사하는 방법을 소개하고 이 데이터에 사실적인 노이즈가 주입되는 방법 또한 제안하였으며 이 합성 데이터로부터 문법을 유도하는 방법을 제안하였다.

위의 방법들은 영상 또는 신체 활동 데이터 소스로부터 일반적인 신체 활동을 찾아내고 분류하는 데 사용되었지만, 어떤 행동을 했는지 알아낼 수 있을 뿐, 행동 과정에서 동작을 어떻게 수행하였는가에 관심이 없다. 그리고 위의 연구들이 감지하는 대상은 일상생활에서의 활동들로 취해질 수 있는 동작이 정해지지 않은 채 대략적인 동작의 흐름들을 하나의 행동으로 분류된다는 특징이 있다. 그러나 본 논문에서는 건강 및 체력 증진을 위한 운동에 등장하는 동작을 대상으로 하므로 일상생활에서의 활동 감지의 경우보다 동작이 정확하게 정의될 수 있고, 동작 과정에서 취해지는 자세들 또한 명확하게 정의된다. 따라서 일상생활에서의 활동 감지의 경우보다 동작 및 동작 과정에서 취해지는 자세들이 훨씬 더 반복적으로 나타나는 경향이 있고, 이러한 반복 패턴을 문법으로 표현하기 용이하다. 동작 과정에서 나타나는 주요 자세를 문자화하고, 이러한 일련의 자세들을 시간의 흐름대로 처음부터 순서대로 늘어놓음으로써 동작을 정의할 수 있으며 동작 과정을 추적하는 규칙을 문법으로 표현하면 동작을 추적하는 상태 전이 모델을 만들 수 있게 된다. 이를 이용하여 동작을 추적하고, 동작들로 구성되는 운동 과정을 추적하는 데 사용할 수 있다.

3. 운동을 구성하는 동작의 추적을 위한 규칙

3.1 운동 내용의 추적을 위한 규칙

운동 과정은 여러 개의 개별 동작의 모임이며, 같은 동작이 여러 번 반복될 수도 있다. 이러한 양상을 [16]의 형식 문법으로 나타낸 것을 운동 과정 추적 규칙이라고 한다. 운동 과정 추적 규칙은 문맥 무관 문법[17]으로 기술될 수 있으며, 푸쉬다운 오토마타[18]를 사용하여 정의할 수 있다. 운동 과정에서 같은 동작을 여러 번 반복하는 단위를 세트(set)라고 하며, 세트 진행 규칙은 다음과 같다. S(e)를 운동 시작 상태, P(e)를 운동 진행 중 상태, P(s)를 세트 진행 중 상태, I(s)를 횟수 증가 상태, N(s)를 다음 세트 진행 상태, F(e)를 운동 종료 상태로 정의한다. s(s)는 세트 시작 신호, s(m)은 동작 시작 신호,

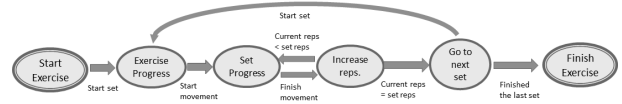


Fig. 3. A State Diagram of Expressing Set Progress in an Exercise Program

f(m)은 동작 종료 신호, f(s)는 마지막 세트 신호, c(s)는 횟수가 반복 횟수보다 적은 상태의 신호, f(s)는 횟수가 반복 횟수 조건을 충족한 경우의 신호라고 정의한다. 그러면 아래의 형식 문법으로 정의될 수 있으며, 푸쉬다운 오토마타로 구현될 수 있다. 대응되는 상태 전이 다이어그램은 Fig. 3과 같다.

$$\begin{aligned}
 S(e) &\rightarrow s(s) P(e) \\
 P(e) &\rightarrow s(m) P(s) \\
 P(s) &\rightarrow f(m) I(s) \\
 I(s) &\rightarrow c(s) P(s) \mid f(s) N(s) \\
 N(s) &\rightarrow s(s) P(e) \mid f(s) F(e)
 \end{aligned}$$

3.2 동작 추적 규칙 생성

동작 과정을 온전하게 표현하기 위해서는 키 포인트 자세 뿐만 아니라 자세의 변화 과정을 기술하는 전이 조건이 주어 져야 한다. 이와 같이 전이 조건에 따라 동작 과정을 추적하려면 대응되는 형식 문법 표현[16]이 필요하며, 이것을 동작 추적 규칙이라고 한다. 동작 추적 규칙을 생성하기 위해서는 상태 정의에 사용되는 키 프레임 자세가 필요하다. 키 프레임 자세 선정 및 추출을 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다. 첫째, 특정 동작이 시작되는 시작 자세, 끝나는 끝 자세를 선정한다. 둘째, 특정 동작임을 표시하는 고유 키 프레임 자세를 선정한다. 셋째, 하나 또는 둘 이상의 관절에 대하여 동작 양상이 변하는, 즉 동작이 멈추거나 방향이 크게 바뀌는 시점의 자세를 선정한다. 넷째, 다음 단계 자세로 변화할 때 그 사이에 나타나는 동작의 방법이 유일해야 하며 둘 이상일 수 있더라도 최단 경로 자세 이외에는 짧은 시간 내에는 재현이 불가능해야 한다. 이를 위하여 다음 단계 자세로 이행하기 위한 제한 시간 정의가 필요하다.

키 프레임 자세들을 선정하였다면 이를 이용한 상태 전이 규칙 생성이 가능하다. 규칙 생성 과정에서 다음의 정보가 명시된다. 현재 자세와 다음 단계 자세, 다음 자세로 변화할 때 전이 조건이 있다. 전이 조건에는 명시적 전이 조건과 암묵적 전이 조건이 있으며 다음의 특성을 가진다. 명시적 전이 조건은 Fig. 4(a)와 같이 어떻게 다음 자세로 변이해야 할지 구체적으로 조건을 서술하는 것으로 각 관절의 동작 경로나 전이 하는 데 걸리는 시간에 대한 제약 조건을 정의하는 것이며 암묵적 전이 조건은 Fig. 4(b)와 같이 다음 자세로 변이하는 방법은 각 관절이 운동역학적으로 에너지 소모가 최소화되는 최단의 경로로 움직인다고 가정하는 것이다.

위에서 서술한 전이조건과 더불어 다음 단계 자세를 취했는지 기준으로는 다음 단계 자세와 얼마나 유사한지 판단해

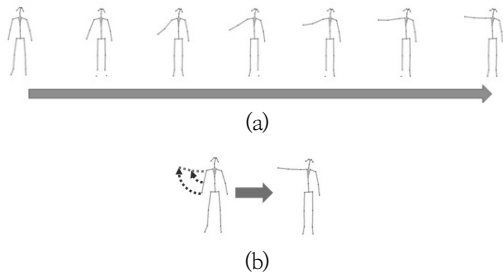


Fig. 4. Methods of Applying Transition Condition: (a) Explicit Transition Condition, (b) Implicit Transition Condition

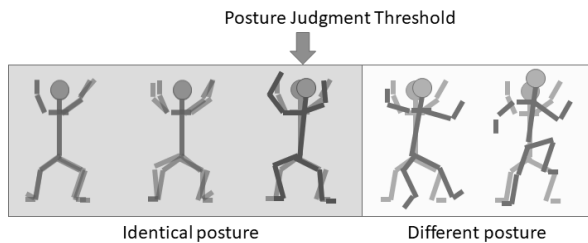


Fig. 5. Matching Similarity of the Keypoint Posture Judgment

야 하는데 그 판단 기준을 자세 판정 임계값이라 하며 Fig. 5에서는 특정 키 포인트 자세에 대하여 같은 자세인지 판단하는 예시가 나타나 있다.

위의 내용에 따라서 동작의 처음부터 끝까지 모든 단계에 걸쳐 전이하는 과정에서 다음 상태의 키 포인트 자세를 취하고 그 전이 조건을 만족하였으면 동작 수행에 성공하였다고 하며, 동작의 끝 상태에 이르기 전에 다음 상태로 전이하지 못하였으면 동작 수행에 실패하였다고 한다. 동작 수행이 실패 여부의 판단 기준은 다음과 같다. 첫째, 다음 단계 자세로 이행하기까지 어떤 동작을 행하여도 제약이 없는 규칙이며 잘못된 자세 취함으로 인한 동작 실패가 없다. 그러나 오랫동안 다음 단계 키 포인트 자세로 변화하지 않은 경우 동작 수행 실패로 간주한다. 이는 동작 습득 단계에서 적합한 정책이다. 둘째, 특정 단계에서 다음 단계 자세로 다른 자세를 취하지 말고 바로 이행해야 하는 규칙이다. 단계 전이 과정에서 취해야 할 자세가 아닌 다른 자세를 취하여도 잘못된 자세로 취급하고 동작이 실패하였다고 판단하며 실제 운동 과정 추적 및 평가에서 적합한 정책이다. 이 때 다른 자세를 취하였는지 판단하는 대상은 현재 행하고 있는 동작 또는 현재 진행하는 운동 과정에서 등장하는 동작들에 포함된 키 포인트 자세들로 한정한다. 생각할 수 있는 모든 동작들에 포함된 자세들을 모두 포함하면 의도하지 않고 중간에 움직이는 과정에서 나오는 자세를 잘못된 자세로 판단하는 오류가 발생할 수 있으며 같은 자세인지 판단해야 할 키 포인트 자세가 많아져 동작 추적의 복잡도가 증가하는 문제점이 발생한다.

동작 추적 규칙의 생성 과정을 실제 동작인 맨몸 스쿼트를 통해서 알아보면 다음과 같다. 맨몸 스쿼트는 서 있는 상태에서 앉았다 일어나는 동작이다. 주요 키 포인트 동작으로는 처

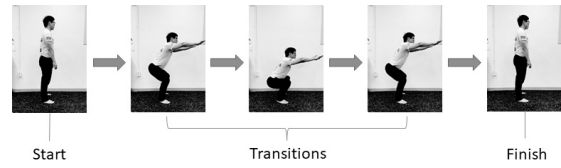


Fig. 6. The Keypoint Postures of Air Squat Movement

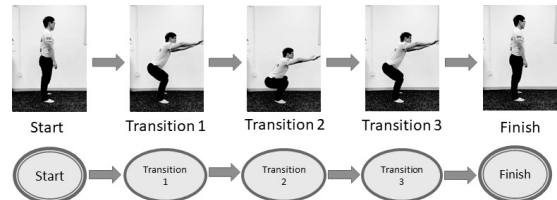


Fig. 7. The Abstract Expression as State Transition Diagram of Air Squat Movement

음과 마지막에 서 있는 자세와 중간에 쭈그러 앉는 상태가 있으며, 쭈그러 앉는 과정과 앉았다 일어나는 과정에서 어떤 모양을 거치는 지 안내하는 동작이 있으며 총 다섯 단계를 거친다.

맨몸 스쿼트 동작을 수행하는 사람마다 동작의 모양은 다를 수 있으나 대체적인 모양의 변화 과정은 Fig. 6과 같다고 볼 수 있다. 따라서 이에 대응되는 추상적인 변화 과정을 Fig. 7과 같이 상태 전이 다이어그램으로 표현할 수 있다. 각각의 키 포인트 자세는 상태로 대응될 수 있고, 자세의 변화 과정을 전이로 대응시킬 수 있다.

그러나 Fig. 7에서는 자세 변화가 어떻게 이루어지는지에 대한 구체적인 기술, 즉 전이 조건이 명시되지 않았다. 대부분의 운동 동작의 경우 다음 키 포인트 자세로 변경하기 위해서 최소 경로로 움직이려는 경향을 반영한 암묵적 전이 조건을 사용하여도 충분하며, 최소 경로 이동을 보장하기 위하여 자세 변화 과정에서 걸리는 시간에 제약을 가한 명시적 전이 조건을 부여하기도 한다. 시작 상태를 S, 전환1 상태를 T1, 전환2 상태를 T2, 전환3 상태를 T3, 종료 상태를 F라고 한다. 전이조건은 다음 상태로 진입하기 위한 키 포인트 자세들 t1, t2, t3, t4가 된다. 그러면 동작 추적 규칙은 아래와 같은 문맥 무관 문법으로 정의된다.

$$\begin{aligned}
 S &\rightarrow t_1 T_1 \\
 T_1 &\rightarrow t_2 T_2 \\
 T_2 &\rightarrow t_3 T_3 \\
 T_3 &\rightarrow t_4 F
 \end{aligned}$$

3.3 동작 실패 상황이 추가된 규칙 생성

만일 동작 도중에 잘못된 자세를 취하여 운동 수행에 실패하게 되면 상태 전이 양상은 조금 더 복잡해지며 시작 상태를 S, 전환 상태를 T, 동작 중단 상태를 H, 동작 실패 상태를 X, 시작 자세를 s, 잘못된 자세를 w, 시간 경과 신호를 o라고 하면 아래와 같은 문맥 무관 문법으로 표현된 규칙이 추가되며 푸쉬다운 오토마타로 구현될 수 있다. 여기서 잘못된 자세라

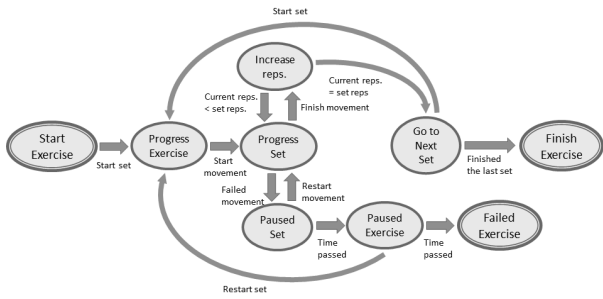


Fig. 8. An Extended State Diagram considering Wrong Movements in the Entire Exercise Progress

함은 같은 동작 내에서 다음 단계에 해당되지 않는 엉뚱한 키 포인트 자세를 취한 것을 말하며, 동작의 절차를 지키지 않아서 동작 수행에 실패함을 초래하는 자세이다.

- S → w H
- T → w H
- H → s S
- H → o X

만일 동작에 실패하는 경우도 고려하면 운동 진행중 상태를 P(e), 세트 진행중 상태를 P(s), 세트 중단 상태를 H(s), 운동 중단 상태를 H(e), 운동 실패 상태를 X(e), 동작 실패 신호를 x(m), 동작 재개 신호를 c(m), 세트 재시작 신호를 r(s), 시간 경과 신호를 o라고 할 때 운동 추적 규칙은 기존의 규칙에 아래의 문맥 무관 문법으로 표현되는 규칙을 추가한다. 이렇게 확장한 운동 과정 추적 다이어그램은 Fig. 8과 같다.

- P(s) → x(m) H(s)
- H(s) → c(m) P(s)
- H(s) → o H(e)
- H(e) → r(s) P(e)
- H(e) → o X(e)

4. 운동 과정 추적 규칙의 적용

4.1 운동 과정 추적 규칙 생성 사례

여기서는 다음의 운동 과정을 추적하는 규칙을 생성하는 것을 보여준다. 추적하고자 하는 운동 내용은 첫 번째 세트로 버피 5회, 두 번째 세트로 스쿼트 5회이다. 3장에서는 동작에서의 키 포인트 자세를 시작, 전환, 끝의 3개로 나누었으나, 실제 동작에서는 전환 자세가 둘 이상인 경우가 많다. 따라서 실제 동작의 시간에 따른 진행 순서에 맞추어 동작을 상태 전이도로 표현한다면, 각 키포인트 자세로 대표되는 상태를 정의할 수 있어서 Fig. 9와 같이 실제 동작에 맞게 확장된 상태 전이도로 표현될 수 있다. 여기서 버피와 스쿼트 동작은 [10]을 참조하였다.

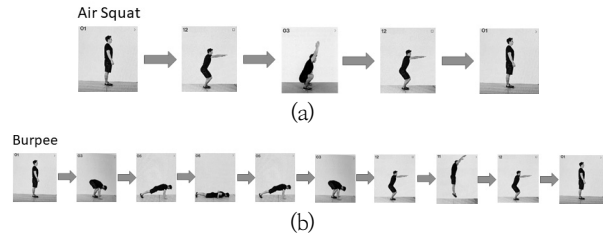


Fig. 9. The Simplified State Transition Diagram for Movement Tracking: (a) Air Squat, (b) Burpee

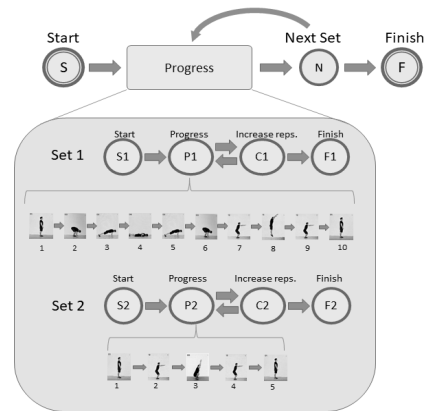


Fig. 10. Constructing a Tracking Rule for the Progress of an Exercise

운동 내용에 속한 동작이 정의될 때 각 동작은 키 포인트 자세들에 의해 상태가 구분되므로 개별적인 키 포인트 자세들에 대한 정보도 추가되어야 한다. 이를 자세 사전이라고 하며 추후 동일한 키 포인트 자세가 사용되는 새로운 동작을 정의하는 데 사용될 수 있다. 그리고 동작들의 정의를 모음을 별도로 보관할 수 있는데, 이를 동작 사전이라고 한다. 동작 사전은 추후 새로운 운동 내용을 정의할 때 필요한 동작을 운동 내용에 넣을 수 있도록 준비된다.

위의 운동 내용에 따른 버피와 스쿼트를 스쿼트를 먼저 정의하고 버피를 나중에 정의한다면 스쿼트, 버피가 차례대로 동작 사전에 정의될 수 있고, 이 동작들에 사용되는 키 포인트 자세들은 자세 사전에서 등록된 자세들 중에서 유사한 것을 선택하여 정의된다. 만일 유사한 자세가 없는 키 포인트 자세가 등장하였다면 해당 자세를 자세 사전에 새롭게 등록한다. 동작 정의 과정과 이에 따른 키 포인트 자세 정의 내용은 Table 1에 잘 나타나 있으며 Fig. 10은 Table 1에 등장하는 동작들을 활용한 운동 내용에 대한 규칙 생성 과정이다.

4.2 운동 과정 및 동작 추적 규칙의 구현

동작 및 운동프로그램 추적 및 기록 프로그램 구현은 Intel i7 7700 CPU, NVIDIA GTX 1080을 탑재한 PC에서 Windows 10 운영체제 기반의 Visual Studio 2017를 이용하였고, C++ 기반 콘솔 응용프로그램 형식으로 OpenCV 라이브러리를 이용하였으며 프로그램 작성 시 가정한 실험 공간 구성은 Fig. 11과 같다. 3 m x 3 m 의 운동용 매트가

Table 1. An Example of Movement Definition and the Consequent Keyframe Postures

| Movement Definition Progress | The Consequent Keyframe Postures |
|--|----------------------------------|
| Air Squat 1 | |
| Air Squat 1 → 2 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 → 4 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 | |
| Air Squat 1 → 2 → 3 → 4 → 5 | |
| Burpee 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 | |

설치된 공간을 이용하였으며, 자세 탐지에 이용된 모션 캡처 시스템은 마커리스 기반의 Azure Kinect DK[19] 이다. 설치 높이는 2.1 m이고, 640 × 576 해상도의 뎀스 맵 이미지를 이용하였다. 뎀스 맵 카메라는 운동 수행자를 담을 수

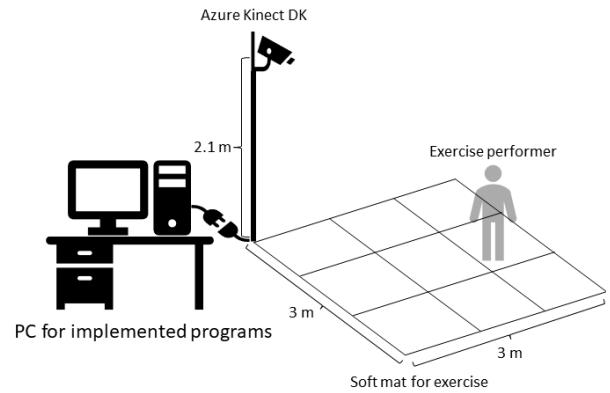


Fig. 11. The Implementation Environment of Movement Tracking

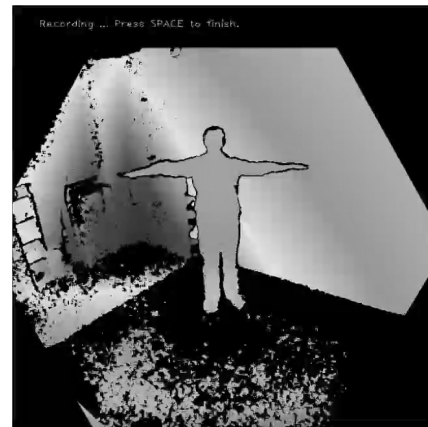


Fig. 12. A Screen Shot of the Recorder

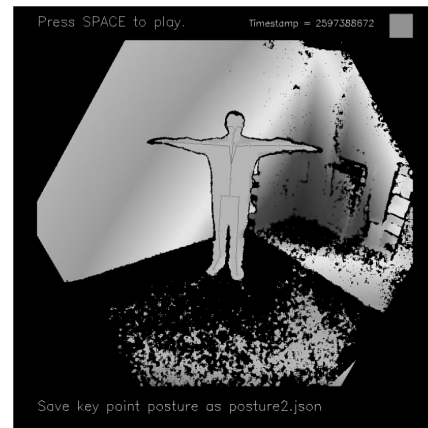


Fig. 13. A Screen Shot of the Posture Extractor

있도록 위에서 비스듬히 내려보는 방향으로 흐린 선으로 표시한 범위의 시야를 가지고 있다.

동작 및 운동 내용 내용을 추적하기 위해서 동작 녹화기, 자세 추출기, 동작 정의기, 운동 내용 정의기, 동작 추적기, 그리고 운동 내용 추적기 프로그램이 구현하였다. 동작 녹화기는 Fig. 12와 같이 동작 정의에 사용할 키 포인트 자세가 포함되는 영상을 녹화한다. 자세 추출기는 Fig. 13과 같이 녹화 영상물에서 키 포인트 자세들을 추출하여 저장한다.

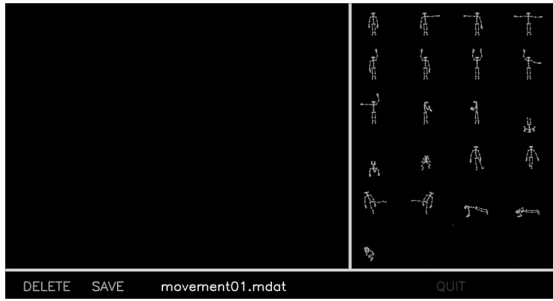


Fig. 14. A Screen Shot of the Movement Creator

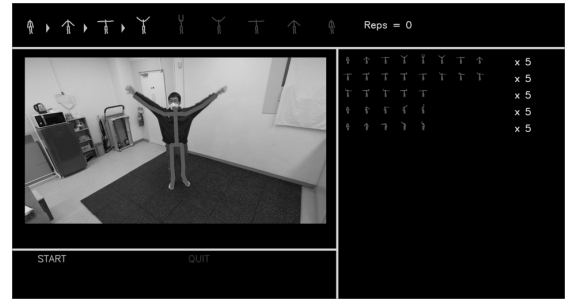


Fig. 17. A Screen Shot of the Exercise Progress Tracker

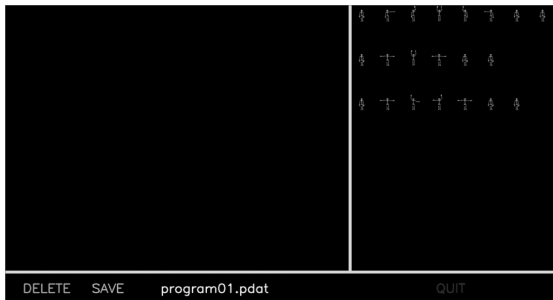


Fig. 15. A Screen Shot of the Exercise Creator

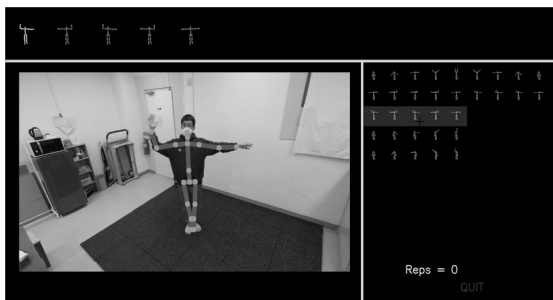


Fig. 16. A Screen Shot of the Movement Tracker

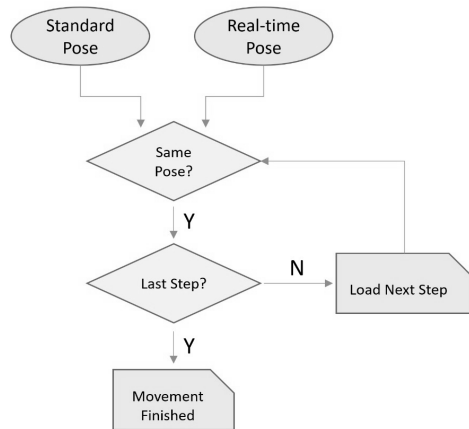


Fig. 18. The Posture Matching Algorithm for Movement Tracker

이렇게 추출한 자세들은 자세 파일로 저장되며, 동작을 정의하는 데 사용하기 위해 자세 파일들의 목록을 작성하여 자세 사전 파일로 저장한다. 동작 정의기는 Fig. 14와 같이 자세 사전에 정의된 키 포인트 자세들을 불러온 다음 원하는 자세들을 선택하여 동작을 정의한다. 운동 내용 정의기는 Fig. 15와 같이 동작 사전에 정의된 동작들을 불러온 다음 원하는 동작과 반복 횟수를 지정하는 방식으로 동작한다. 동작 추적기는 Fig. 16과 같이 정의된 동작에 대하여 실제 동작이 정의된 동작대로 잘 따라하는 지 판단한다. 운동 내용 추적기는 Fig. 17과 같이 전체적인 운동 내용 및 운동을 구성하는 동작을 잘 따라하는 지 판단한다.

동작 추적기에서는 동작에서 정의된 키 포인트 자세들을 처음부터 차례대로 비교하여 마지막 단계의 키 포인트 자세까지 모두 일치하는가를 확인하며, 각 단계 별로 자세를 비교하는 알고리즘은 Fig. 18과 같다. 사전에 정의된 동작들에 포함된 키 포인트 자세들인 기준 자세와 실시간 영상에서 추출된 자세인 실시간 자세를 비교하게 되며, 자세 일치 여부는 Fig. 5에

서 보듯 신체 부위 위치의 오차가 임계치 이하인지 검사함으로써 알 수 있다. 자세가 일치하면 동작의 마지막 단계에 도달했는지 검사하고, 그렇다면 동작을 완료한 것이고, 그렇지 않으면 다음 단계의 기준 자세를 불러와서 다시 비교하게 된다.

운동 과정 추적기에서는 운동을 구성하는 동작과 반복 횟수로 구성된 세트 진행 과정을 추적하게 되며, 움직임 추적기와 비슷한 방식으로 기준 동작과 실시간 동작을 비교한다. 전체적인 운동 과정 추적 알고리즘은 Fig. 19와 같다. 운동을 시작하게 되면 이를 구성하는 세트를 첫 세트부터 시작하게 되며, 세트를 구성하는 동작에 대하여 동작 추적기를 통해서 추적한 결과를 받아서 동작을 완료하면 동작 횟수가 증가하며, 이를 세트에서 지정한 반복 횟수를 수행할 때까지 반복한다. 만일 세트 반복 횟수를 채우면 다음 세트 정보를 불러와서 동작 추적 및 반복 횟수 확인을 계속 한다. 만일 마지막 세트의 반복 횟수를 채우면 더 이상 운동 내용이 없으므로 운동을 마치게 되며, 세트 수행 중 동작 수행을 중단하게 되면 운동 실패 상태가 된다.

본 논문에서는 동작 및 운동 과정 추적 방법을 제안하였고, 이를 뒷받침하는 간단한 운동 과정 추적 규칙 생성 사례를 소개하였다. 운동 과정 추적 규칙 생성에 대한 보다 다양한 사례들, 본 절에서 구현한 프로그램들의 상세한 동작 과정, 동작 추적 및 운동 과정 추적 실험 내용 등은 [11]에 소개되어 있다.

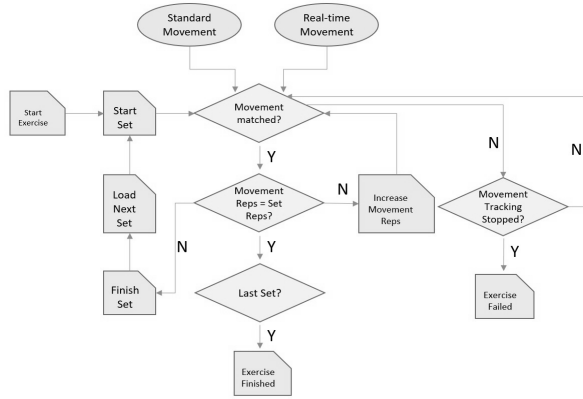


Fig. 19. The Tracking Algorithm for Exercise Progress Tracker

5. 결 론

본 논문에서는 운동 과정의 기록 및 분석 과정의 정규화 방법을 제안하였다. 이를 위하여 체육학적 근거에 따라 동작을 여러 단계로 나누고, 각 단계를 구분하는 키 프레임을 체육학적 근거에 따라 선정하여 동작을 단계적으로 구분하여 분석하기 위한 규칙을 정의하는 방법을 제시하였다. 동작을 분석하기 위한 규칙은 키 프레임으로 사용할 수 있는 자세의 정의와 동작 내의 키 프레임을 상태로 하고 상태 간의 전이 규칙을 정의하는 상태 전이 모델의 정의로 나누어진다. 제안된 규칙이 어떻게 적용되는 지 맨몸 스쿼트와 버피 동작이 포함된 운동을 통해 알아보았으며, 운동 과정 및 동작 추적 규칙이 어떻게 적용될 지 구현해 봄으로써 운동 콘텐츠에서 제안한 규칙을 어떻게 구체적으로 표현이 가능한 지 알아보았다.

그러나 본 논문에서 소개한 추적 방법을 실제 운동 콘텐츠에 적용하기 위해서는 다음에 대한 추가적인 연구들이 필요하다. 첫째, 정확한 자세를 추출하기 위한 모션 캡처 기술에 대한 연구가 필요하다. 모션 캡처의 정확도가 보장되지 않으면 자세 비교의 신뢰성 또한 떨어지기 때문이다. 둘째, 특정 모션 캡처 장비에 얽매이지 않는 다양한 플랫폼에서 동작 및 운동 과정 추적 기능을 사용하기 위한 연구가 필요하다. 비대면 운동 콘텐츠는 고급 모션 캡처 장비를 사용할 수 있는 체육시설 뿐만 아니라 PC나 모바일 기기를 사용하는 일반 환경에서도 많이 사용되기 때문이다. 마지막으로 체육학적 지식을 활용하여 추적 결과를 분석할 수 있는 도구 개발에 대한 연구가 필요하다. 동작 및 운동 과정 추적 기능은 그 자체로는 의미가 없으며 추적 과정을 기록하여 분석이 이루어져야 운동을 제대로 수행했는지에 대한 의미 있는 해석이 이루어질 수 있다.

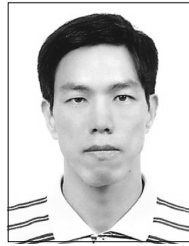
본 논문에서 소개한 추적 방법은 비대면 운동 콘텐츠에 사용될 수 있다. 운동 트레이너가 운동 과정을 명시적으로 정의하고 설계하고 이를 정규화 하여 비대면 운동 콘텐츠에 적용할 수 있다. 운동 과정의 기록 및 분석 기능을 활용하여 직접 대면하지 않고도 운동을 시킬 수 있으며 운동 수행 후 분석 결과를 통해서 운동 수행자가 운동을 잘 따라 했는지, 아니라

면 어느 과정에서 문제가 발생했는지를 체계적으로 알 수 있는 근거를 제시해준다.

References

- [1] Quarantine System of Government of Republic of Korea [Internet], <http://ncov.mohw.go.kr/baroView2.do?brdId=4&brdGubun=42>.
- [2] ‘Sports Tok-Tok’, Non Face-to-Face Sports Care Service, Gibbun Woori Sports Center [Internet], http://www.gibbun sports.or.kr/weel_bbs/board.php?bo_table=bbs_notice&wr_id=820&page=2.
- [3] H. G. Lee, “A study on the gesture matching method for the development of gesture contents,” *Journal of Korea Game Society*, Vol.13, No.6, pp.75-84, 2013.
- [4] S. H. Kim, Y. K. Lim, Y. H. Kim, and Y. H. Chai, “Partial movement authoring for a reconfigurable motion capture,” *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers (KIISE)*, Vol.46, No.10, pp.989-1000, 2019.
- [5] J. A. Albert, V. Owolabi, A. Gebel, C. M. Brahms, U. Granacher, and B. Arnrich, “Evaluation of the pose tracking performance of the azure kinect and kinect v2 for gait analysis in comparison with a gold standard: A pilot study,” *Sensors*, Vol.20, No.5104, pp.1-22, 2020.
- [6] F. Han, B. Reily, W. Hoff, and H. Zhang, “Space-time representation of people based on 3D skeletal data: A review,” *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.158, pp.85-105, 2017
- [7] S. Y. Kim, J. C. Park, K. S. Byun, and H. Y. Baek, “Biomechanical analysis of throw movement to second base in high school elite baseball catchers,” *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.30, No.2, pp.165-172, 2020.
- [8] J. K. Lee, B. S. Heo, Y. J. Kim, and H. T. Lee, “Sports biomechanical analysis before and after applying weight belt during squat exercise,” *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol.28, No.4, pp.893-902, 2016.
- [9] E. S. Shin, “Kinetics analysis of goal ball turning throw motion,” *Korean Journal of Sports Science*, Vol.29, No.5, pp.1151-1160, 2020.
- [10] Carl Paoli and Anthony Sherbondy, “free+style, maximize sport and life performance with four basic movements,” Victory Belt Publishing, pp.23-45, 2014.
- [11] Daniel Chung, “Movement tracking and analysis for contactless exercise contents,” Ph.D. Thesis, Soongsil University, 2021.
- [12] M. O. Yoo and K. J. Park, “Comparison of the character movements from key-frame and motion capture animation,” *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.8, No.9, pp.74-83, 2008.

- [13] S. M. Shin and J. L. Kim, "Reading body and movement: Theory and practice of the laban movement analysis," Ewha Womens University Press, 2010.
- [14] A. Richard, H. Kuehne, and J. Gall, "Action sets: Weakly supervised action segmentation without ordering constraints," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.5987-5996, 2018.
- [15] S. Dixon, R. Hansen, and W. Deneke, "Probabilistic grammar induction for long term human activity parsing," *2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pp.306-311, 2019.
- [16] Formal Language, Wikipedia [Internet], https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%98%95%EC%8B%9D_%EB%AC%B8%EB%B2%95.
- [17] Context-free Grammar, Wikipedia [Internet], https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%AC%B8%EB%A7%A5_%EC%9E%90%EC%9C%A0_%EB%AC%B8%EB%B2%95.
- [18] Pushdown Automaton, Wikipedia [Internet], https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%91%B8_%EC%8B%9C%EB%8B%A4%EC%9A%B4_%EC%9E%90%EB%8F%99_%EA%B8%B0%EA%B3%84.
- [19] Azure Kinect DK Hardware Specifications, Microsoft [Internet], <https://docs.microsoft.com/ko-kr/azure/kinect-dk/hardware-specification>.



정 다 니 엘

<https://orcid.org/0000-0002-2949-0889>

e-mail : danielc@soongsil.ac.kr

1999년 포항공과대학교 컴퓨터공학과
(학사)

2001년 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부
(석사)

2015년 ~ 현 재 송실대학교 정보통신소재융합학과
석 · 박사통합과정

관심분야 : 가상현실, 스크린스포츠, 스포츠IT



고 일 주

<https://orcid.org/0000-0002-2376-9264>

e-mail : andy@ssu.ac.kr

1992년 송실대학교 전산학과(학사)

1994년 송실대학교 전산학과(석사)

1997년 송실대학교 전산학과(박사)

2003년 ~ 현 재 송실대학교

글로벌미디어학부 교수

관심분야 : 콘텐츠, 인공지능, 인간-로봇 인터페이스, 스포츠IT