웨어러블 센서와 잠재 공간 표현을 이용한 인공지능 기반 코칭 수단

김태환[1], 박정호[1], 이주원[1], 임수빈[2], 채병철[2], 오형철[3], 박주영[1]

[1]고려대학교 제어계측공학과, [2)],[3]고려대학교 전자및정보공학과

[1]{kteaw0110, seanpark0107, saero94j, parkj}@korea.ac.kr

[3]ohyeong@korea.ac.kr

AI-based Coaching Tools based on Wearable Sensors and Latent Space Representations

Taehwan Kim[1], Jeongho Park[1], Juwon Lee[1], Su-Bin Yim[2], Byeong-Cheol Chae[2], Hyeong-Cheol Oh[3], Jooyoung Park[1]

[1]Department of Control and Instrumentation Engineering, Korea University

[2,3]Department of Electronics and Information Engineering, Korea University

요 약

최근 들어 웨어러블 센서 기술의 발전을 통해 손쉽게 사용자의 모션 데이터를 얻을 수 있게 되었고, 이를 바탕으로 헬스 케어 분야에서 인공지능 기술을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 기술들의 발전을 바탕으로 사용자의 운동 모션 데이터를 웨어러블 센서로부터 수집하여 잠재 공간상에서 효율적으로 표현하고, 이를 통해 인공지능 기반의 운동 코칭 수단 개발에 대한 가능성을 확인하고자 한다. 웨어러블 센서를 활용하여 수집한 모션 데이터에 대해 본 논문에서 고려하는 방법론을 적용한 실험은 유의미한 결과를 보여주었고, 이는 운동 코칭을 위한 인공지능 기술로써 중요한 밑바탕이 될 것으로 기대한다.

Ⅰ. 서 론

최근 4차 산업혁명시대에서의 인공지능 기술은 다양한 분야에서 뛰어난 성능을 보이며 활발한 연구와 이를 이용한 응용 기술들이 개발되고 있다. 또한, 헬스 케어 어플리케이션에 대한 적용 가능성을 보여주고 있다[1-4]. 그리고 헬스 케어 분야에 인공지능 기술이 적용될 수 있었던 주요한 요소로 웨어러블 센서 기술의 발전을 생각할 수 있다. 이러한 웨어러블 센서의 발전과 적극적인 활용은 사용자에 대한 다양한 건강 관련 정보를 수집할 수 있게 해주었고, 이를 통해 다양한 응용 기술들이 연구, 개발되고 있다. 본 논문에서는 웨어러블 센서와 인공지능 기술을 이용한 헬스 케어 문제를 다루고자 한다. 구체적으로, 웨어러블 센서를 통해 수집된 사용자의 운동 모션 데이터와 인공지능 기반의 방법론을 활용하여 맞춤형 운동 코칭 수단의 개발 가능성을 탐구하고자 한다. 여기서 고려하는 인공지능 방법론으로는 뉴럴 확률론적 미분 방정식(neural stochastic differential equations)[3]을 이용한 잠재 공간상의 표현을 활용하는 방법과 주기적 오토인코더(periodic autoencoder)를 이용한 모션 위상 메니폴드(motion phase manifold) 표현 방법론[4]을 응용하고자 한다. 이러한 방법론을 활용하여 물리 공간상에서 표현되는 사용자의 운동 모션에 대한 시계열 데이터를 이용하여 모션 코칭을 수행하기 위해 효율적으로 잠재 공간상에 맵핑(mapping)한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에서는 본 논문을 통해 탐구하고자하는 인공지능 기반 헬스케어 방법의 개요에 대해 살펴본다. 그리고 2장 본론에서는 모션 코칭을 위해 활용하는 뉴럴 확률론적 미분 방정식과 주기적 오토 인코더에 대해 살펴보고, 실험을 위해 사용된 데이터와 해당 데이터의 수집 과정을 소개한다. 그리고 3장 실험 결과에서는 웨어러블 센서를 통해 수집된 데이터를 이용한 잠재 공간 표현을 확인한다. 마지막 결론에서는 인공지능 기반의 모션 코칭을 위해 본 논문에서 활용한 방법론들에 대해 토의하고 향후 연구 방향에 대해 살펴본다.

Ⅱ. 본론

본 논문에서는 인공지능 기술을 이용한 운동 코칭 수단의 개발 가능성을 탐구한다. 이를 위해 고려하는 인공지능 기술로는 확률론적 미분 방정식과 뉴럴 네트워크를 결합한 뉴럴 확률론적 미분 방정식을 이용하는 방법[3]과 주기성을 가지는 데이터의 의미있는 표현을 위한 주기적 오토인코더[4]를 이용하는 방법에 대해 살펴본다.

확률론적 미분 방정식은 시계열 데이터에 대한 불확실성을 이해하는 고전적인 방법으로 최근 뉴럴 네트워크와 결합하여 뛰어난 성능을 보여주고 있다. 본 논문에서는 이러한 뉴럴 확률론적 미분 방정식과 GPT-2 모델을 결합하여 모션의 특징을 잠재 공간상에 표현하고 이를 통해 모션을 분석하는 방법을 고려한다[3]. 수집된 고차원 시계열 모션 데이터 X_t에 GPT-2 모델 $q_\phi(z_t|x_{0:t})$을 통해 잠재 공간상의 궤적으로 맵핑하고 식 1의 뉴럴 확률론적 미분 방정식을 통해 의미있는 잠재 공간상의 궤적을 표현한다.

1) 실험 수행 시 소속임.

$$dz_t = \mu_\theta(z_t, t)dt + \sigma_\theta dW_t \quad (1)$$

이렇게 표현된 잠재 공간상의 궤적은 디코더를 통해 관측 공간으로 맵핑하는 과정을 수행하고, 이러한 전체적인 모델의 학습을 위해 변분 추론을 이용한다[3]. 주기적 오토인코더를 이용한 방법론[4]에서는 수집된 모션 데이터에 대해 컨볼루션 네트워크를 통한 임베딩을 수행한다. 이후 시간 공간에 대한 표현과 Fourier transform을 이용한 주파수 공간에서의 표현을 통해 위상 메니폴드를 생성하는 과정을 수행하고, 위상 메니폴드를 다시 관측 공간으로 맵핑하게 된다. 본 논문에서는 뉴럴 확률론적 미분 방정식을 이용하는 방법[3]과 주기적 오토인코더[4]를 이용하는 방법에서의 잠재 공간 궤적을 통해 동작 코칭 가능성을 탐구한다. 구체적으로, 초보자의 동작과 숙련된 전문가의 동작을 잠재 공간상의 궤적을 이용하여 비교 분석하는 코칭 수단의 개발 가능성을 탐구한다.

본 논문에서 탐구하는 인공지능 기반의 모션 코칭을 위해 그림 1과 같이 16개의 IMU(inertial measurement unit) 센서를 전신에 부착하고 라즈베리파이를 통해 데이터를 수집할 수 있는 장치를 제작하여 사용하였다. 실제 데이터 수집 단계에서는 숙련자와 초보자가 취하는 Line Dance 동작[5]에 대해, 센서 모듈 16개에서 수신되는 각각의 x, y, z방향의 가속도와 자이로 센서 데이터를 수집하여, 그들 중 일부를 본 실험에 사용하였다.

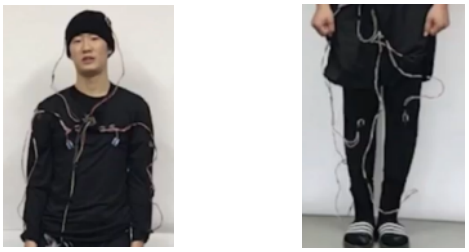

그림 1. 데이터 수집 장치

Ⅲ. 실험 결과

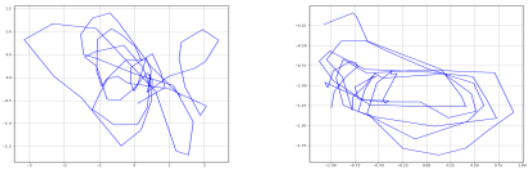

그림 2. 뉴럴 확률 미분 방정식 기반의 방법론을 이용한 잠재 공간상의 궤적 (왼쪽: 초보자, 오른쪽: 숙련자)

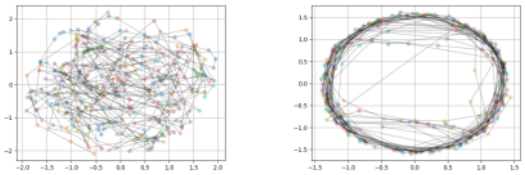

그림 3. 주기성 오토인코더 방법론을 이용한 잠재 공간상의 궤적 (왼쪽: 초보자, 오른쪽: 숙련자)

본 논문에서는 운동 코칭에 있어서 두 가지 인공지능 방법론들을 활용하는 방안을 모색하였다. 먼저, 그림 2는 초보자와 숙련자의 다리 쪽 자이로 센서의 운동 모션 데이터에 대해 뉴럴 확률 미분 방정식 기반의 방법론을 적용한 결과를 보여주고 있다. 초보자에 대한 특징 표현의 결과는 반복적인 모션에 대해 특정 궤적이 보이지 않고 있는데 반해 숙련자의 데이터에 대한 결과는 특정 궤적을 보이고 있다. 그림 3은 운동 데이터에 대해 주기성 오토인코더 방법론을 적용한 결과이다. 첫 번째 실험과 동일하게 초보자 운동 데이터에 대한 잠재 공간상의 특징 표현에서는 특정 궤적이 보이지 않으나, 숙련자 데이터에 대해서는 특정 궤적을 보이고 있다. 이러한 궤적은 향후에 관련 기술로 개발될 잠재 공간 위에서의 코칭 가이던스(guidance) 기술과 결합되어 사용자가 실시하는 운동에 대한 바람직한 코칭 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 즉, 운동이 제대로 수행될 경우에 잠재 공간상의 특징 표현이 숙련자의 주기성을 모방하는 궤적을 보일 수 있을 것이다. 이러한 가능성의 실현을 위한 첫 번째 단계로써 본 논문의 인공지능 기반의 코칭 정보 취득 방법론으로 부터 숙련자와 초보자의 특징 표현을 얻어낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

Ⅳ. 결론 및 고찰

본 논문에서는 운동 코칭에 있어서 IMU 센서를 활용하여 모션 데이터를 수집하였고, 해당 데이터를 활용하여 유용한 정보를 제공할 수 있는 딥러닝 기반 운동 코칭 문제를 푸는 전략을 다루었다. 본 연구에서는 두 가지 인공지능 전략을 활용하여 운동 코칭 보조 수단으로써 활용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 첫 번째로는 GPT-2와 뉴럴 확률 미분 방정식를 활용하여 고차원 시계열 데이터를 잠재 공간상에서의 유의미한 특징 표현을 얻어냈다. 두 번째로는 주기성 오토인코더 기반의 방법론을 활용하여 주기성을 갖는 고차원 모션 데이터에 대한 진폭(amplitudes)과 주파수(frequencies) 등에 대한 위상 특징(phase features)을 잠재 공간상의 유의미한 특징 표현으로 표현하였다. 이러한 방법론들을 바탕으로 실제 실험에서는 시계열 형태의 운동 모션 데이터에 대해 유용한 정보를 제공할 수 있는 저차원 공간상의 궤적 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 운동 코칭에 있어서 사용자가 운동을 잘하고 있는지에 대한 여부를 확인할 수 있는 정보를 제공하고 있다. 실제 어떠한 방향으로 운동을 수행해야 하는지에 대해 보다 구체적인 가이드라인을 제공하는 문제는 향후 관련 연구 과제로 다룰 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF-2020R1F1A1072772)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Lee, J., Joo, H., Lee, J., & Chee, Y. (2020). Automatic classification of squat posture using inertial sensors: Deep learning approach. Sensors, 20(2), 361.

[2] Lim, S. M., Oh, H. C., Kim, J., Lee, J., &Park, J. (2018). LSTM-guided coaching assistant for table tennis practice. Sensors, 18(12), 4112.

[3] Lee, J., Kim, T., Park, J., & Park, J. (2022). Smartphone Sensor-Based Human Motion Characterization with Neural Stochastic Differential Equations and Transformer Model. Sensors, 22(19), 7480.

[4] Starke, S., Mason, I., & Komura, T. (2022). Deepphase: Periodic autoencoders for learning motion phase manifolds. ACM Transactions on Graphics (TOG), 41(4), 1-13.

[5] https://youtu.be/GH8C0uJ5sTY