

키넥트를 이용한 인간 움직임의 주파수 예측 및 이를 활용한 응용 프로그램 구현

서명규[†], 김상엽^{**}, 주장복^{***}, 이 철^{****}

Frequency Estimation of Human Movements Using Kinect and Its Application

Myoung-Gyu Seo[†], Sang-Yeob Kim^{**}, Jang-Bok Ju^{***}, Chul Lee^{****}

ABSTRACT

We propose a frequency estimation algorithm of human movements using Kinect. We collect the 3D coordinates of the joints of a human body and then obtain the frequency-domain description of the movements using the discrete Fourier transform (DFT). By choosing the frequency with the biggest magnitude in the selected frequencies of each of human's joint, we obtain the major beat of the human movements. Experimental results show that the proposed algorithm accurately estimates the frequency of human movements. We expect that the proposed algorithm would be applied to many AR and VR applications as a preprocessing.

Key words: Frequency Estimation, Motion Recognition, Kinect

1. 서 론

최근 증강현실(Augmented Reality: AR)에 대한 관심이 증가 하면서 관련 연구가 활발하게 진행되고 있으며[1], 포켓몬 고 열풍에서 볼 수 있듯이 관련 산업 또한 커지고 있다. 하지만 가시적 측면에서의 발전에 비해서 기계와 상호 소통하며 사람의 움직임이나 동작을 인식하는 측면으로의 발전은 상대적으로 적게 진행되었다. 예를 들어 기존의 움직임 및 동작을 인식하는 연구들은 정확한 움직임 또는 포즈를 취해야 하며, 대부분 신체의 제한된 부분만을 이용하는 단점이 있다 [2-7]. 또한, 동작인식에 대하여 최근

대부분의 연구에서는 머신러닝 기술을 이용하므로 인간의 다양한 움직임을 전처리 과정에서 학습 시켜야 하는 단점이 존재한다 [8], 따라서 기존의 연구는 실생활 속에서 인간의 일반적인 움직임을 이용하여 AR을 응용 사용하기 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 키넥트를 이용하여 세밀하고 범용적으로 사용 가능한 동작 인식 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 키넥트를 이용하여 인식한 관절의 주기적인 움직임을 탐지하고, 탐지한 움직임의 파형을 분석해 그 주파수를 예측한다. 기존 여러 연구들과는 달리 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 제한된 소수의 정확한 움직임이나 포즈에만 적용되는

* Corresponding Author: Chul Lee, Address: (48513) 45, Yongso-ro, Nam-Gu, Busan, Korea, TEL: +82-51-629-6228, FAX: +82-51-629-6264, E-mail: chullee@pknu.ac.kr

Receipt date: July 17, 2017, Approval date: July 31, 2017

[†] Department of Computer Engineering, Pukyong National University (E-mail: mk7seo@pukyong.ac.kr)

^{**} Department of Computer Engineering, Pukyong National University (E-mail: sangyub@pukyong.ac.kr)

^{***} Department of Computer Engineering, Pukyong National University (E-mail: oneson@pukyong.ac.kr)

^{****} Department of Computer Engineering, Pukyong National University

* This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University (2015 year).

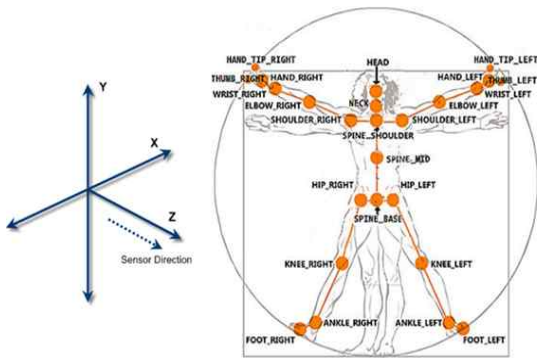


Fig. 1. Data acquisition using Kinect.

것이 아니라 인간의 모든 움직임에 적용될 수 있다. 본 연구는 인간의 움직임 속에서 공통되는 주파수를 추출해 내는 것이며, 이는 사용 가능한 스피드 데이터를 미리 저장된 움직임에서가 아닌 특정한 계산을 통해 추출해 내는 것을 의미한다. 본 연구에서는 미리 저장된 움직임이 아닌 비주기적이고 변칙적인 움직임으로부터 정확한 속도를 추출하는 알고리즘을 개발한다. 제안하는 움직임 주파수 추정 알고리즘은 동작 캡처에서 전처리 기술로 사용될 수 있다.

제안하는 알고리즘은 키넥트를 이용하여 인간의 비주기적인 움직임에 대한 비트를 측정한다. 먼저 키넥트를 이용하여 신체 데이터를 획득하고 이를 푸리에 변환(discrete Fourier Transform)을 이용하여 필요로 하는 데이터로 변환하여 분석하며, 최종적으로 원하는 속도 데이터를 획득하는 것을 최종 목표로 한다. 또한 인접 관절의 결과와 비교하는 후처리를 통해서 정확도를 더욱 향상시킨다. 각 관절별로 지정된 빈(bin)사이즈만큼 시간영역상의 위치 데이터를 확보하고 이를 고속 푸리에 변환(fast Fourier trans-

form)을 이용하여 변환한 뒤 모든 관절을 통틀어 움직임을 대표하는 주파수를 선택하고, 이후 그 정확도 향상을 위해 인접 관절의 주요 주파수와와의 비교 과정을 거친다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 키넥트를 통해 얻을 수 있는 데이터를 정리한 후 본 논문의 기본 이론이 되는 이산 푸리에 변환에 대하여 정의한 이산 푸리에 변환 결과 탐색 영역 축소에 대해 설명한다. 3장에서는 대표 주파수를 선택하는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안하는 알고리즘을 이용하여 개발한 응용 프로그램을 소개한다. 5장에서는 제안한 알고리즘으로 단일 관절 및 복수 관절에 대한 인식률에 대한 실험결과와 응용 프로그램 실행 결과를 설명하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 신체 데이터 획득 및 데이터 처리

2.1 키넥트를 통해 얻을 수 있는 데이터 [9-10]

키넥트는 인간의 동작을 인식하는 장비로 Color Sensor, IR Emitter와 IR Depth Sensor 등 여러 Sensor로 구성되어 있으며, 이 Sensor들을 이용해 일반적으로 RGB 카메라로 촬영되는 영상(Color View)과 촬영된 영상의 깊이 정보를 나타내는 영상(Depth View) 그리고 검출된 사용자의 골격을 나타내는 영상(Skeleton View)을 출력한다. Skeleton View는 Color Sensor를 통해 검출한 인간의 평면적인 위치와 Depth Sensor를 통해 얻어진 z축(Sensor를 기준으로 깊이 방향)으로의 위치를 조합하여 Sensor 앞쪽의 일정한 3D 공간에 있는 인간의 위치 데이터를 25개의 관절을 기준으로 하여 산출한다. 키넥트는 30Hz의 샘플링 주파수를 가지며, 각 샘플에

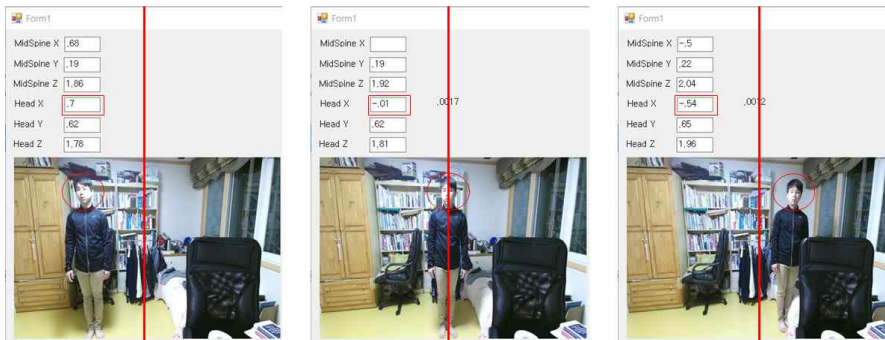


Fig. 2. An example of single joint coordinate data acquisition.

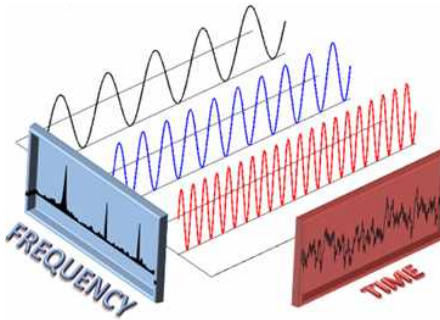


Fig. 3. An illustration of a cross-section of DFT.

서 25개 관절의 x, y, z 축의 상대적 위치 데이터를 산출한다.

이 때 데이터는 25개의 관절에 대해서 3D 공간에서 x, y, z 축 중심으로부터의 거리를 나타낸다. 위치 데이터는 3D 공간의 가운데를 기준으로 x 축에 대해서 오른쪽은 양의 값을, 왼쪽은 음의 값을 산출한다. y 축은 위쪽의 양의 값을 아래쪽은 음의 값을 산출하며, z 축은 키넥트로부터 멀어지면 양의 값을, 가까워지면 음의 값을 산출한다.

2.2 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform)

푸리에 변환은 복소수 함수를 동반하는 시간영역 상 데이터 파형을 주파수별로 분해하는 작업을 의미한다. 즉, 일정 시간동안 추출되는 데이터셋(Bin)이 필요하게 되며 bin의 데이터로 표현되는 파형은 여러 주파수와 진폭을 가지는 파형의 합성이며, 푸리에 변환은 이를 분해하여 표현할 수 있다. 이 때 시간도메인 상의 인덱스(x 축)인 시간은 주파수로 나타낼 수 있는 인덱스로, 웨이브의 진폭인 y 축은 해당 주파수의 진폭을 나타내게 된다.

본 연구에서는 이산 신호를 사용하므로 이산 입력 신호에 적용할 수 있는 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform: DFT)을 사용한다. DFT는 최근

신호처리에 사용되는 데이터들이 이산 신호라는 점에 착안하여 무한 시간을 다루는 푸리에 변환과 달리 유한 이산시간을 범위로 한다. DFT는 이산 복소수 함수를 동반하는 데이터 파형을 사용한다는 점이 다를 뿐 일반 푸리에 변환과 같은 결과를 산출한다.

이산 푸리에 변환의 또 다른 장점은 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform: FFT)을 적용할 수 있다는 것이다. FFT는 DFT를 빠르게 연산할 수 있는 알고리즘으로 bin을 재귀적으로 1/2로 나눈 뒤 DFT를 적용하여 그 결과를 합치는 방법이며, 대표적으로 Cooley-Tukey fast Fourier transform(CTFFT)[11]이 있다. CTFFT는 사용되는 연산 중 동일한 연산의 결과를 미리 저장하여 이후 등장하는 동일한 연산의 추가적인 연산을 줄여 전체 연산 횟수를 줄이면서도 동일한 결과를 산출하는 수학적 기법이다. 따라서 CTFFT를 사용하여 시간 복잡도를 $O(M\log_2 N)$ 로 줄일 수 있다. 단, bin을 1/2씩 재귀적으로 나누기 때문에 bin 사이즈는 항상 2의 배수가 되어야 한다.

본 연구에서는 시간 도메인 상의 각 관절별 위치 정보를 이용해 비주기 데이터를 모으고 이를 일정한 개수의 데이터 단위인 bin으로 가공해 입력 파형을 구성한다. 그런 다음 DFT를 이용하여 여러 주파수의 파형 및 그 진폭을 분석한다. Fig. 4는 오른손 관절 하나의 x, y, z 축 별 32개의 프레임에 대한 위치 데이터 셋을 취득해 32의 크기를 가지는 bit을 구성하고, DFT를 적용하여 시간 도메인 상 위치 데이터 파형이 가지고 있는 여러 주파수 파형의 진폭을 나타내는 예를 도시한다.

2.3 관절 별 데이터 처리

키넥트는 각 관절마다 x, y, z 축 각각의 상대적 위치 데이터를 매 프레임별로 산출한다. 따라서 본 연구에서는 먼저 x, y, z 축 별로 각각 bin을 생성하여 시간에 따라 입력 데이터를 축적한다. 일정 시간이

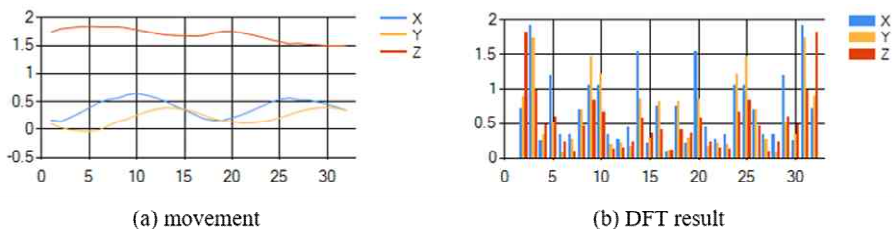


Fig. 4. Examples of a single joint's input data and their DFT coefficients.

지나면 3개의 bin에 충분한 양의 데이터가 저장되며, CTFFT를 이용하여 각 bin별로 서로 다른 진폭과 주파수로 이루어진 파형으로 나누어 분석할 수 있다.

2.4 Bin 크기와 반응 속도의 관계

본 연구에서 사용하는 bin의 크기는 시간 도메인 상에 표현되는 데이터의 개수를 의미한다. 따라서 더 많은 데이터를 이용하기 위해서는 더 많은 시간동안 데이터를 수집해야 한다. 또한 각각의 bin에 많은 데이터가 사용될수록, 합성 파형의 정확도가 증가한다. 이는 시간 도메인 상 인덱스인 시간이 주파수 도메인 상 인덱스인 주파수로 변경되며 bin 크기가 증가하면 주파수 영역 상 각 인덱스가 나타내는 주파수의 간격이 세밀해 지기 때문이다. 또한 bin 크기가 증가하여 데이터 수집 시간이 길어지면 일정한 주기의 파형의 출현이 증가하기 때문에 더욱 정확한 주파수 분석이 가능하다.

하지만 많은 데이터를 사용하면 데이터 획득하는데 필요한 시간이 증가하여 반응 속도가 느리다는 단점이 존재한다. 예를 들어 본 연구에서 사용하는 키넥트의 샘플링 레이트가 30Hz이기 때문에 bin 크기가 64이면 반응 시간은 약 2초가 소요된다. 본 연구에서는 실시간으로 동작을 인식하고 그 박자를 산출하기 위하여 오버래핑 기법을 사용한다. 즉, bin에 데이터를 채우는 방식을 큐 형태로 하여 각 bin의 데이터가 모두 채워지지 않아도 CTFFT를 실행할 수 있도록 한다.

3. 탐색 영역 축소

3.1 헤르미트 대칭(Hermitian Symmetry)

Fig. 5는 입력 데이터의 bin에 대한 CTFFT 결과를 제시한다. 푸리에 변환의 특징 중 하나인 헤르미트 대칭(Hermitian symmetry) 특성으로 인하여 가운데 지점을 기준으로 좌우 데이터가 대칭된다. 즉, 시간 영역 상 실수 함수의 푸리에 변환은 복소수 함수 형태가 되는데, 이때 복소수 함수는 반드시 헤르미트 대칭성을 갖게 된다 [12]. 구체적으로는 복소수 함수 $H(j\omega) = R(\omega) + jX(\omega)$ 에서 실수부 $R(\omega)$ 는 우대칭(even symmetry) 특성을 보이며 허수부 $X(\omega)$ 는 기대칭(odd symmetry)의 특성을 보이는데, 실수 함수의 허수부가 0이므로 전체 데이터는 우함수의 특성을 따르기 때문에 좌우 대칭이 된다. 따라서 본 연구에서는 CTFFT 계수의 중간을 기준으로 우측 1/2영역은 탐색 영역에서 제외된다.

3.2 한계 주파수

본 연구에서는 다양한 실험을 통하여 인간의 움직임 중 가장 빠르게 움직일 수 있는 주파수를 추정하였다. 이를 통해서 인간의 가장 빠른 움직임의 주파수는 약 3.5Hz가 되는 것을 확인하였다. 이는 Fig. 5의 좌측 1/4 지점의 인덱스가 나타내는 주파수와 같다. Fig. 5를 보면 제외한 영역의 좌측 1/4의 데이터를 사용하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 헤르미트 대칭 및 인간 움직임의 한계 주파수 특성에 기반하여 전체 DFT 변환 데이터 중 좌측 1/8

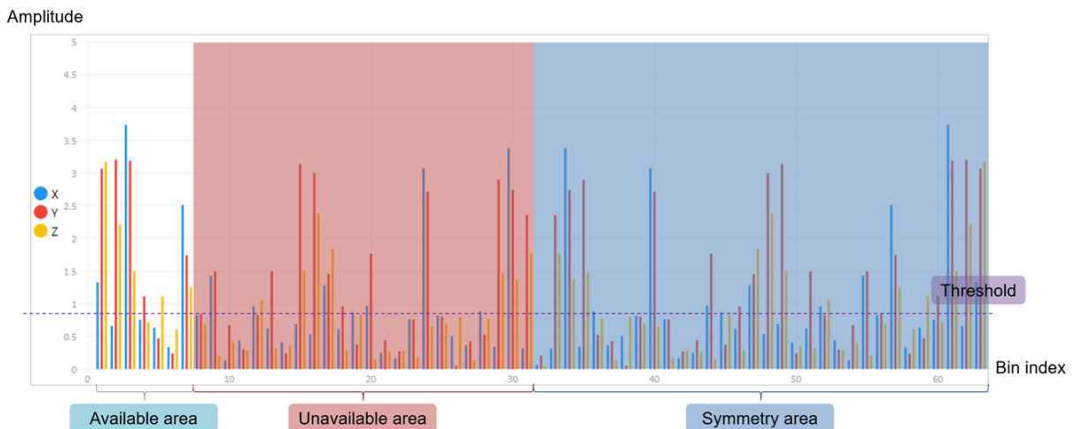


Fig. 5. An overview of downsizing search area of the DFT results.

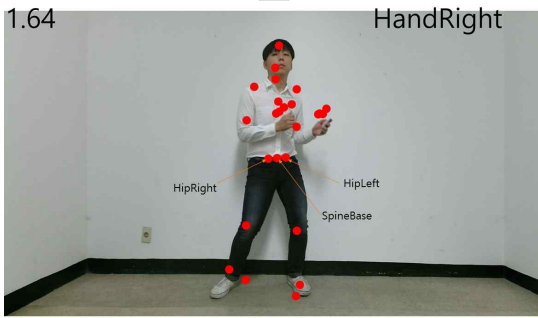


Fig. 6. An example of a group of joints that show similar movements.

에 해당하는 데이터만을 사용한다.

3.3 사용 관절 최소화

키넥트는 인체에 대해서 총 25개의 관절에 대한 위치 데이터를 산출한다. 하지만 Fig. 6이 도시하는 것과 같이 서로 근접해 있는 관절은 유사한 CTFFT 결과를 산출한다. 예를 들어 Fig. 6의 허리 아래쪽 세개의 관절인 HipLeft, SpineBase, HipRight는 서로 독립적으로 움직일 수 없는 관절이기 때문에 항상 거의 유사한 CTFFT 결과를 산출한다. 따라서 이러한 유사한 움직임을 보이는 여러 개의 관절은 하나의 대표 관절만을 이용한다. 본 연구에서는 이러한 관찰에 기반하여 총 25개의 관절 중에서 Table 1이 나타내는 13개의 관절만을 사용한다.

Table 1. List of joints used in this work.

<p>Head, SpineShoulder, SpineBase, ShoulderRight, ShoulderLeft, ElbowRight, HandRight, ElbowLeft, HandLeft, KneeRight, FootRight, KneeLeft, FootLeft</p>
--

4. 움직임 주파수 예측

4.1 관절 별 대표 인덱스 선정

각 관절의 움직임 주파수를 예측하기 위해서 CTFFT 계수 중에서 주파수 도메인 상 3개 축의 동일 인덱스에 대해서 진폭이 가장 큰 축의 인덱스를 선택한다 [13]. 이는 각 축 방향으로의 움직임 중에서 가장 주요하게(mainly) 움직인 주파수가 주로 가장 큰 진폭을 가지게 된다는 관찰에 기반한 결과이다. 움직임

주파수는 아래의 수식 (1)이 나타내는 것과 같이 CTFFT 계수의 인덱스를 기준으로 선택한다. 즉, i 번째 관절에서 x, y, z 의 k 번째 인덱스별 가장 큰 진폭 $\hat{X}^{(i)}$ 을 선택하는 것은 다음과 같다.

$$\hat{X}^{(i)} = \max\{|X_x^{(i)}[k]|, |X_y^{(i)}[k]|, |X_z^{(i)}[k]|\} \quad (1)$$

그러 다음 인덱스별 대표 진폭을 선택하여 가장 큰 진폭을 가지는 인덱스를 최종적으로 선택한다. 이는 다음의 수식 (2)로 표현될 수 있는데, i 번째 관절별 인덱스 k 범위 안에서 최고 진폭 \hat{X} 를 가지는 인덱스 $\hat{k}^{(i)}$ 를 찾는 것을 나타낸다.

$$\hat{k}^{(i)} = \underset{k}{\operatorname{argmax}} |\hat{X}^{(i)}[k]| \quad (2)$$

따라서 x, y, z 각 축으로의 움직임을 분석해 인덱스별로 최고 진폭을 선택하고, 그 중 가장 큰 진폭을 가지는 인덱스를 다시 선택하는 것이다. 즉, 수식 (2)에서 $\hat{k}^{(i)}$ 는 i 번째 관절을 대표하는 인덱스를 나타낸다.

4.2 대표 주파수 선정

각 관절별 대표 인덱스를 선정 한 후, 이 중에서 대표 관절의 인덱스를 나타내는 가장 큰 인덱스를 선택한다. 가장 큰 인덱스는 가장 빠른 속도로 일정하게 움직이는 사람 관절의 움직임을 나타내는 인덱스이며, 가장 빠른 속도의 움직임이 인간 움직임을 대표할 수 있다는 것을 다양한 실험을 통해서 확인하였다¹⁾.

Fig. 7은 축소된 탐색 영역에서 관절별 대표 인덱스를 선정하고 각 관절의 대표 인덱스 중 가장 큰 인덱스를 선정하는 단계를 보여주는 도식도이다. 이러한 과정은 아래의 수식 (3)으로 나타낼 수 있으며, 관절 범위 J 내에서 최고 진폭 $\hat{X}^{(i)}$ 를 갖는 인덱스 \hat{k} 를 찾는다.

$$\hat{k} = \underset{i \in J}{\operatorname{argmax}} |\hat{X}^{(i)}[\hat{k}^{(i)}]|, J = \{1, 2, \dots, M\} \quad (3)$$

4.3 인접 탐색 및 노이즈 제거

앞서 CTFFT 계수의 탐색영역을 줄여서 대표 인

1) 다수의 피실험자들이 참여한 실험에서 각 피실험자는 특정한 주파수로 움직이고, 이를 키넥트로 촬영하여 각 관절별 움직임의 계산된 주파수와 피실험자의 실제 움직임의 주파수를 비교 분석 하였다.

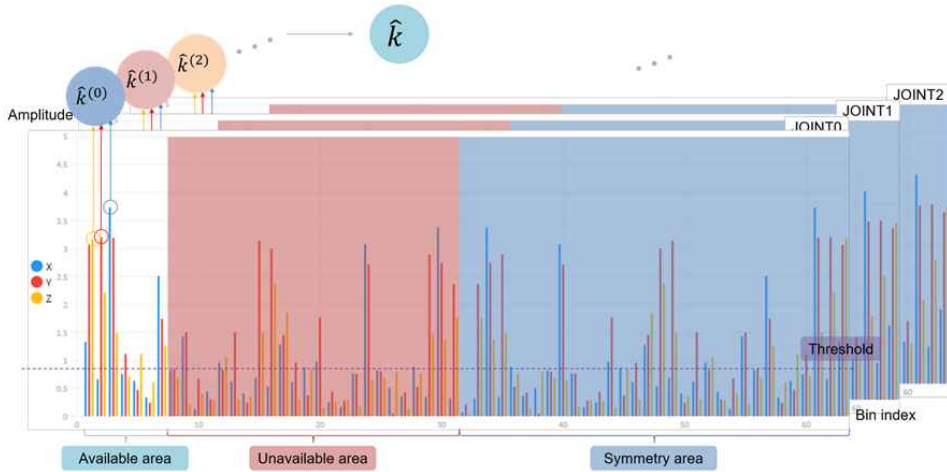


Fig. 7. An overview of the dominant frequency selection using DFT coefficients.

텍스를 선정하였으나, 키넥트 장비의 특성으로 인하여 부정확한 진폭을 나타내는 인덱스가 선택되는 노이즈가 발생한다. 이러한 노이즈의 발생 원인은 관절의 위치를 측정하는 부분에서 노이즈가 발생하기 때문이다. 이로 인하여 CTFFT 계수에 노이즈가 전파되어 부정확한 인덱스의 진폭이 매우 커지며, 최종적으로 대표 주파수로 잘못 선정되는 현상이 발생한다.

이러한 노이즈는 해당 관절과 물리적으로 인접해 있는 2개 관절의 대표 인덱스가 동일하고 그 진폭이 확연하게 차이 나게 한다. 반면 인접 관절 2개의 움직임이 없어 인덱스가 0일 때도 발생하지만 이러한 경우는 노이즈가 아니라고 판단해야 한다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 특성에 기반하여, 다음과 같은 노이즈 제거 기법을 제안한다.

4.4 최종 대표 주파수 계산

앞선 선정된 최종 인덱스는 다음의 수식 (4)를 이용하여 실제 사람 움직임의 주파수로 변환된다.

$$Frequency = \frac{Index \times Sampling\ rate}{Bin\ size} \tag{4}$$

5. 응용 프로그램: Dance Metronome

본 연구에서는 인간의 다양한 움직임에 대한 주파수를 계산할 수 있는 기법을 개발한다. 이러한 기법을 이용하여 다양한 VR 응용 프로그램을 개발할 수 있다. 본 연구에서는 악기 연주자가 박자를 맞추기 위해 사용하는 Metronome에서 착안하여 Dance Metronome을 개발한다. 본 응용 프로그램은 키넥트 Sensor 앞에서 움직이는 사람의 동작을 분석하여 대표 주파수를 획득하고 이를 BPM(Beats Per Minute)으로 변환한 다음 디스플레이한다. 또한 획득한 BPM에 따라 배경음악의 속도를 변경하여 재생한다. 본 응용 프로그램은 BPM으로 변환된 값을 약 4초 간격으로 계산하고 이에 맞는 속도로 음악을 재생한다. 즉 BPM이 낮을수록 느리게 재생하면 높을수록 빠르게 음악을 재생한다.

Table 2. Noise removal algorithm

<ol style="list-style-type: none"> 1. Check if adjacent joints indices share the same value and differ from currently selected joint's index (prime index). 2. Check if both adjacent joints indices are 0. 3. If both Condition 1 and Condition 2 are satisfied, currently selected joint's index can be considered as noise and we can re-select adjacent joint's index for prime index.
<p>So, selection \hat{k} in index i of joint k is presented as pseudocode in below.</p> <p>if $((i[k-1] \text{ OR } i[k+1]) == i[k] \text{ AND } i[k] == i[\hat{k}]) \text{ AND } (i[k-1] \text{ AND } i[k+1] != 0)$ then $i[\hat{k}] = (i[k-1] \text{ OR } i[k+1])$</p>



Fig. 8. The screenshot of the application program.



Fig. 9. Demonstration of the application program.

응용 프로그램의 인터페이스는 유니티[14]를 사용하여 4개의 분할된 화면으로 구성하였다. Fig. 8이 도시하는 것과 같이 좌측 위는 입력 RGB영상, 우측 위는 인식된 사람의 적외선 영상과 스켈레톤 영상 및 계산된 BPM을 보여주는 영상, 좌측 아래는 아바타 움직이는 영상, 우측 아래는 VR 영상이다. Fig. 9는 본 연구에서 개발한 응용 프로그램을 시연하는 영상을 도시한다.

6. 실험 결과

6.1 실험환경

실험 시스템 환경은 Intel Core i7-374QM CPU @2.70Hz, 16GB 메모리, NVIDIA Geforce GT650M

으로 구성된 MacBook Pro 노트북이며 운영체제는 Windows 10을 사용하였다. 실험에 사용한 프로그램은 C# 언어를 이용하며 개발하였다. Fig. 10은 본 연구에서 개발한 알고리즘을 분석하기 위한 프로그램을 도시한다. 최대 2개 관절의 움직임과 각 관절의 움직임에 대한 CTFFT 계수, 입력 RGB 영상, 대표 관절이 나타내는 BPM 등을 나타내는 그래프로 구성된다.

6.2 단일 관절의 인식

먼저 단일 관절의 일정한 움직임에 대한 주파수 예측 정확도를 측정한다. 이를 위해 오른손 관절 하나를 여러 가지 주파수의 형태로 움직이면서 동영상으로 촬영하여 해당 움직임이 정확한 주파수를 계산

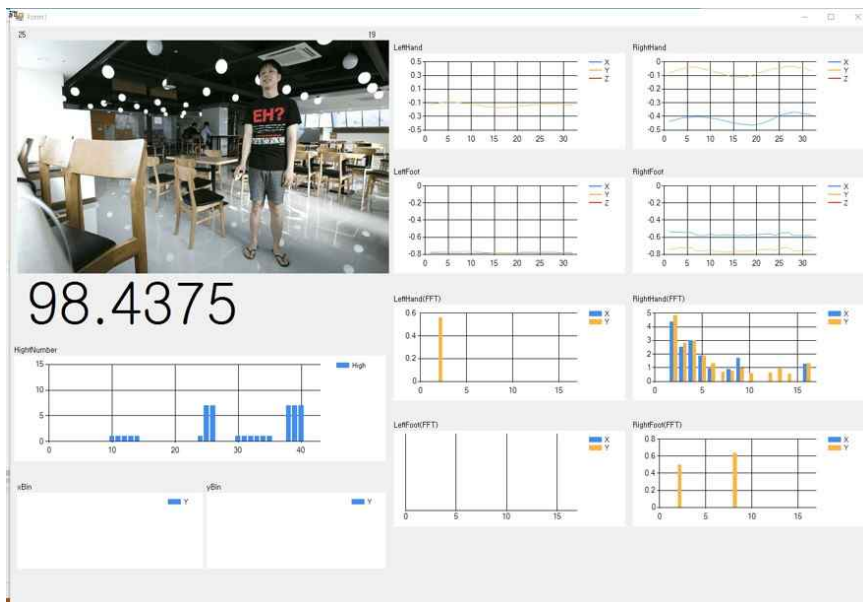


Fig. 10. A screenshot of the proposed analysis tool.

Table 3. Comparison of the accuracy between the ground truth (f_g) and computed frequency (f_c) Unit : Hz

f_g	1.80	1.88	2.03	2.13	2.37	2.60
f_c	1.64	1.88	1.98	2.11	2.34	2.58

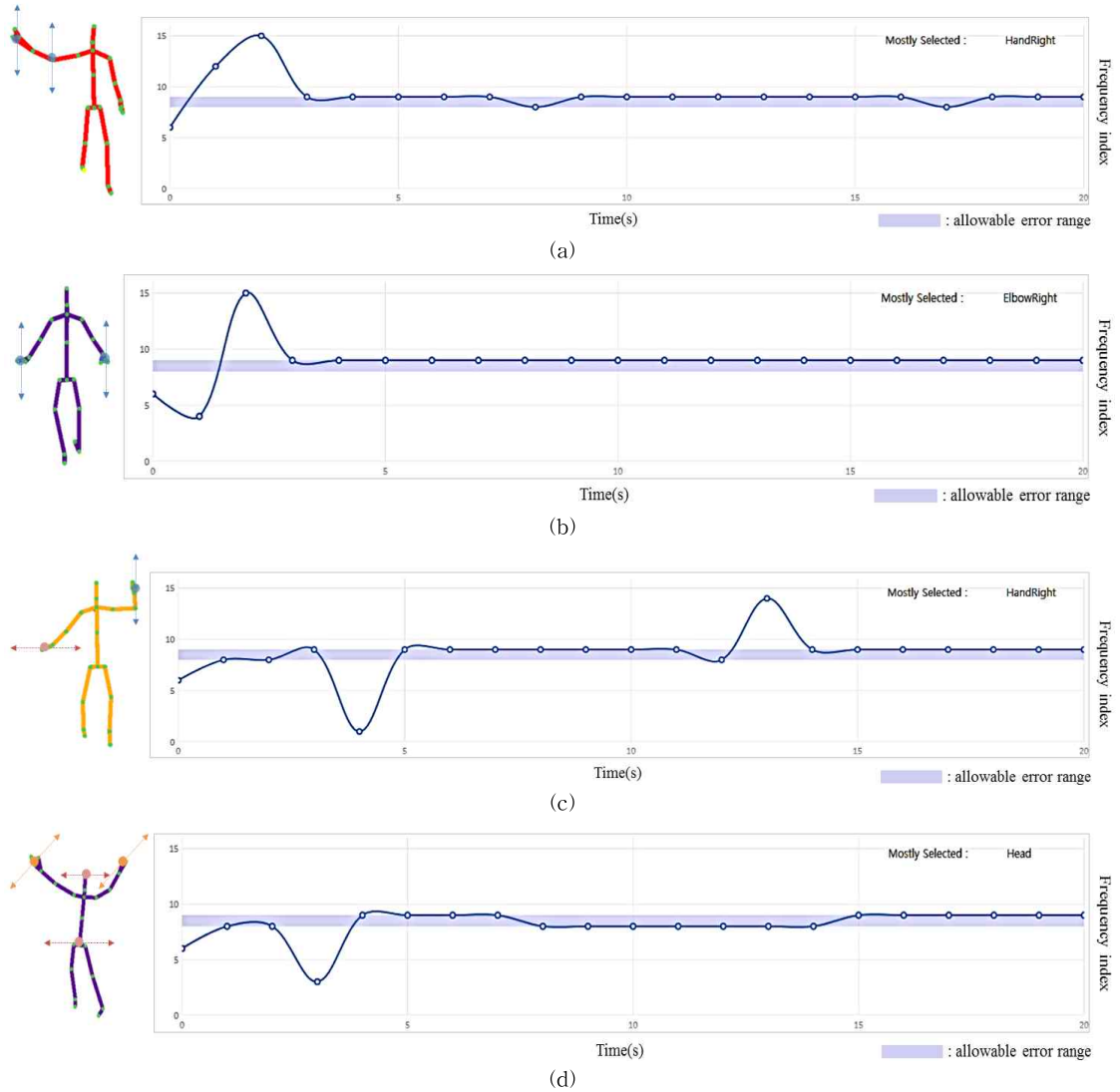


Fig. 11. An illustration of the frequency indices of multiple joints movements. (a) right arm, (b) right/left hand, (c) right/left hand with different directions, (d) head, right/left hand, waist with multiple directions.

한다. 이 때 각 주파수 별로 50회 이상 시도를 하여 평균값을 계산한다. 이렇게 취득한 동영상을 이용하여 본 연구에서 개발한 주파수 계산 알고리즘의 정확도를 평가한다. Table 3는 동영상으로 촬영된 실제 주파수와 본 연구에서 제안한 기법을 이용하여 계산

한 주파수를 비교한다.

Table 3의 결과를 이용하여 다음의 수식 (5)를 이용하여 에러율을 계산하였으며, 평균 0.98의 높은 정확도를 확인하였다. 여기에서 f_g 는 동영상의 주파수이며, f_c 는 계산된 주파수이다.

$$Error\ rate = \left| \frac{f_g - f_c}{f_g} \right| \quad (5)$$

6.3 복수 관절의 인식

다음으로 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 복잡한 관절 움직임이 있는 상황에서의 주파수 예측 정확도를 확인한다. 이를 위하여 복수의 관절을 약 2.00Hz의 주파수로 여러 방향으로 20초간 움직이는 동영상 촬영하여 정확한 주파수를 계산한다.

Fig. 12는 복수 관절의 움직임에 대한 주파수 추정 결과를 도시한다. Fig. 12(a)의 움직임은 오른손과 오른쪽 팔꿈치의 y 축 방향 움직임, Fig. 12(b)의 움직임은 오른손과 왼손의 y 축 방향 움직임, Fig. 12(c)의 움직임은 오른손은 x 축으로 왼손은 y 축으로의 움직임, Fig. 12(d)의 움직임은 양손은 z 축으로 움직이며 머리와 허리는 x 축으로 움직이는 동작을 나타낸다. 보라색으로 표시된 영역은 허용되는 주파수 오차가 약 ± 0.15 정도이다. 동영상 촬영을 위해 버튼을 누르는 순간인 최초 3초 정도를 제외하고 나머지 17초간은 허용되는 오차 범위 내에서 2.00Hz로 정확하게 계산되는 것을 확인할 수 있다. 또한 각 그래프의 오른쪽 위에는 20초간 가장 많이 선택되는 관절을 표시한다.

7. 결 론

본 연구에서는 키넥트를 이용해 사람의 비주기적 움직임에서 대표 관절을 선정하고 해당 관절의 움직임의 속도를 예측하는 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 기법에서는 키넥트를 이용해 얻을 수 있는 각 관절의 위치 데이터를 이용해 CTFFT를 이용하여 주파수 영역의 데이터로 변환한 다음 각 관절별 대표 주파수를 선정하고 최종적으로 모든 관절을 대표하는 주파수를 선택한다. 각 관절을 대표하는 주파수는 진폭이 가장 큰 주파수를 선택한 후, 관절별 대표 주파수 중 가장 빠른 주파수를 선택한다. 실험을 통해서 단일 관절의 경우 98%의 정확도를 보이며 복수 관절의 경우 여러 방향으로 다양한 관절의 움직임을 보인 실험 환경에서 92.5%의 높은 정확도를 보임을 확인하였다. 본 연구에서 제안하는 기법은 기존의 학습된 움직임 및 동작뿐만 아니라 자유로운 움직임에 대해서도 정확하게 움직임의 주파수를 예측할 수 있다. 따라서 제안하는 기법은 향후 AR/VR 분야에서

필수적으로 사용되는 모션 인식 및 모션 캡처의 전처리로 널리 사용될 것이다.

REFERENCE

- [1] J. Han, L. Shao, D. Xu, and J. Shotton, "Enhanced Computer Vision with Microsoft Kinect Sensor: A Review," *IEEE Transactions on Cybernetics*, Vol. 43, No. 5, pp. 1318-1334, 2013.
- [2] S. Laraba and J. Tilmann, "Dance Performance Evaluation Using Hidden Markov Models," *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol. 27, No. 3-4, pp. 321-329, 2016.
- [3] F. Ofli, G. Kurillo, Š. Obdržálek, R. Bajcsy, H. B. Jimison, and M. Pavel, "Design and Evaluation of an Interactive Exercise Coaching System for Older Adults: Lessons Learned," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol. 20, No. 1, pp. 201-212, 2016.
- [4] P. Phamduy, M. DeBellis, and M. Porfiri, "Controlling a Robotic Fish Via a Natural User Interface for Informal Science Education," *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 17, No. 12, pp. 2328-2337, 2015.
- [5] Z. Saenz-de-Urturi and B.G.Z. Soto, "Kinect-Based Virtual Game for the Elderly That Detects Incorrect Body Postures in Real Time," *Sensors*, Vol. 16, No. 5, pp. 1-15, 2016.
- [6] M. Parajuli, D. Tran, W. Ma, and D. Sharma, "Senior Health Monitoring Using Kinect," *Proceeding of International Conference on Communications and Electronics*, pp. 309-312, 2012.
- [7] K. Cheoi and J. Han, "A Novel Door Security System using Hand Gesture Recognition," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 8, pp. 1320-1328, 2016.
- [8] M.I. Quraishi, K.G. Dhal, J.P. Choudhury, P. Ghosh, P. Sai, and M. De, "A Novel Human Hand Finger Gesture Recognition Using Machine Learning," *Proceeding of IEEE International Conference on Parallel Distrib-*

uted and Grid Computing, pp. 882–887, 2012.

[9] A. Jana, *Kinect for Windows SDK Programming Guide*, Packt Publishing, Birmingham UK, 2012.

[10] Kinect for Windows Human Interface Guidelines v2.0, <https://go.microsoft.com/fwlink/?LinkID=403900> (accessed Aug., 01, 2017).

[11] J.W. Cooley and J.W. Tukey, “An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series,” *Mathematics of Computation*, Vol. 19, pp. 297–301, 1965.

[12] T. Frankel, *The Geometry of Physics: An Introduction*, Cambridge University Press, 3rd Edition, Cambridge, UK, 2011.

[13] M.G. Seo, S.Y. Kim, J.B. Ju, and C. Lee, “Beat Estimation of Non-Periodic Human Movements Using Kinect,” *Proceeding of IEEE/IEIE International Conference on Consumer Electronics-Asia*, pp. 547–548, 2016.

[14] Unity, <https://unity3d.com/> (accessed Aug., 01, 2017).



서 명 규

2017년 부경대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 2017년~현재 페이타랩(PaytaLab.) 수석프로그래머
 관심분야: 영상처리, 데이터 마이닝, 데이터 시각화



김 상 엽

2017년 부경대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 관심분야: 영상처리, 알고리즘



주 장 복

現 부경대학교 컴퓨터공학과 재학
 관심분야: 영상처리, 제어



이 철

2003년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업(공학사)
 2008년 고려대학교 전자전기공학과 졸업(공학석사)
 2013년 고려대학교 전자전기공학과 졸업(공학박사)

2002년~2006년 ㈜바이오스페이스 (현 ㈜인바디)
 2013년~2014년 Postdoctoral Scholar, Pennsylvania State University
 2014년~2015년 Research Scientist, The University of Hong Kong
 2015년~현재 부경대학교 컴퓨터공학과 조교수
 관심분야: 영상처리, 계산 영상, 컴퓨터비전