

체감형 배드민턴 게임을 위한 스윙 인식과 셔틀콕 궤적 계산 방법

김상철
한국외국어대학교 컴퓨터공학과
kimsa@hufs.ac.kr

Methods for Swing Recognition and Shuttle Cock's Trajectory Calculation in a Tangible Badminton Game

Sangchul Kim
Dept. of Computer Science and Engineering, Hankuk University of Foreign Studies

요 약

최근 다양한 모션 센서를 이용해서 실제 사용자의 동작을 인식하는 체감형 스포츠 게임에 대한 관심이 높다. 본 논문에서는 체감형 게임 플레이를 지원하는 배드민턴 게임의 구현에 필요한 핵심 요소 기술인 스윙 모션의 인식과 셔틀콕의 궤적 계산 방법을 제안한다. 사용자가 스마트폰을 손에 쥐고 배드민턴 스윙을 하면, 스마트폰에 내장된 가속도 센서가 발생시키는 모션 신호를 다우비시 필터를 이용해서 특징벡터로 변환하고, 이를 k-NN 기반의 인식을 통해서 스윙 타입을 알아낸다. 본 논문에서 제안한 스윙 모션 인식 방법을 이용하면, 상용 모션 컨트롤러를 구입하지 않아도 체감형 배드민턴 게임을 즐길 수 있는 장점이 있다. 배드민턴 셔틀콕은 그 모양의 특징으로 인해 독특한 비행 궤적을 가지고 있기에, 단순한 힘과 속도에 관한 물리 법칙으로는 그 궤적을 표현하기 쉽지 않다. 본 논문에서 우리는 바람의 영향을 고려한 배드민턴 셔틀콕의 비행 궤적 계산 방법을 제안한다.

Keywords : 모션 인식, 배드민턴 스윙, 셔틀콕 궤적

ABSTRACT

Recently there have been many interests on tangible sport games that can recognize the motions of players. In this paper, we propose essential technologies required for tangible games, which are methods for swing motion recognition and the calculation of shuttle cock's trajectory. When a user carries out a badminton swing while holding a smartphone with his hand, the motion signal generated by smartphone-embedded acceleration sensors is transformed into a feature vector through a Daubechies filter, and then its swing type is recognized using a k-NN based method. The method for swing motion presented herein provides an advantage in a way that a player can enjoy tangible games without purchasing a commercial motion controller. Since a badminton shuttle cock has a particular flight trajectory due to the nature of its shape, it is not easy to calculate the trajectory of the shuttle cock using simple physics rules about force and velocity. In this paper, we propose a method for calculating the flight trajectory of a badminton shuttle cock in which the wind effect is considered.

Keywords : Motion Recognition, Badminton Swing, Shuttle Cock's Trajectory

Received: Mar. 24, 2014 Accepted: Apr. 08, 2014

Corresponding Author: Sangchul Kim

(Hankuk University of Foreign Studies)

E-mail: kimsa@hufs.ac.kr

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 사용자 인터페이스 기술의 발달로, 단순한 키보드나 마우스 조작만을 이용하지 않고, 사용자의 모션을 인식하여 게임을 진행하는 체감형 게임에 대한 관심이 높다. 특히 스포츠 및 헬스용 분야에서 이런 게임이 활발히 발표되고 있다. 예를 들면, 닌텐도사의 모션 컨트롤러를 이용한 헬스용 Wii 게임[1] 이나 마이크로소프트사의 Kinect[2]를 이용한 각종 스포츠 게임들을 대표적으로 들 수 있다. 이들 게임에서 사용자는 팔이나 다리를 움직이거나 특정 몸동작을 취하면, 사용자의 모션이 인식되어 동작의 정확성, 타이밍 등이 게임 진행을 위한 입력으로 이용된다. 이런 동작을 통해서 사용자는 운동효과를 얻거나 몸 움직임에서 오는 즐거움을 얻게 된다[3,4]. 앞선 설명에서와 같이 모션 인식을 위해서는 일반적으로 가속도 센서나 카메라를 이용한 별도의 모션 인식용 기구가 필요하다. 따라서 스마트폰에 모션 센서가 내장된 점에 착안하여, 스마트폰을 모션 인식 기구로 활용하는 게임에 대한 연구가 진행되어 오고 있다[4].

배드민턴은 탁구나 테니스처럼 남녀노소의 일반인이 즐기는 생활 스포츠이기에, 이들을 컴퓨터에서 즐길 수 있는 게임들이 다수 존재한다. 우리는 스마트폰을 모션 컨트롤러로 사용할 수 있는 배드민턴 컴퓨터 게임을 개발하였다. 본 논문에서는 이런 게임 구현에 필요한 핵심 기술인 배드민턴 스윙 모션의 인식과 배드민턴 셔틀콕의 궤적 표현 방법을 제안한다.

배드민턴 스윙은 여러 타입으로 세분화 된다. 우리가 분석해 본 바, 배드민턴 스윙 시 발생하는 스마트폰 가속도 센서의 신호는 스윙 타입별 일정한 패턴을 가진다. 우리의 방법에서는 먼저 주어진 스윙의 가속도 센서 신호를 특징 벡터로 변환한 후, k-NN (k-Nearest Neighbor)[5] 기반의 인식 알고리즘을 통해서 해당 스윙의 타입을 알아낸다. 배드민턴 셔틀콕이 비행할 때에 구조적 특성상 공기 저항을 많이 받아 지면으로 강하 시에 정속을 유

지하는 비행 궤적을 보인다. 본 논문에서는 기존 연구[6]을 확장해서, 주변 바람을 영향을 고려한 비행 궤적 모델을 제안한다.

가속도 센서를 스포츠 동작을 인식하고 그 특성을 분석하는 연구는 다수 발표되어 왔다[4, 7,8,9,10,11,12]. Ohgi 등은 사용자 몸에 가속도 센서를 부착하고, 골프 스윙 메커니즘을 분석하였다[7]. [4,9,10]에서는 테니스 스윙의 타입을 인식하거나, 스윙의 정확성을 분석하는데 가속도 센서를 이용하고 있다. 가속도 센서는 합기도와 같은 격투기 동작의 특징을 분석하는데도 활용되었다[8]. 스포츠 동작이 아니라 일반적 동작 분석에는 가속도 센서를 이용하는 연구도 발표되었다. 걷는 동작의 세부 절차[11]나 일상생활 동작의 구성[12]를 특정부위에서 발생하는 가속도 신호로부터 파악하고 있다. 우리의 조사에 의하면 가속도 센서를 이용해서 배드민턴 스윙 타입을 인식하는 연구는 거의 발표되지 않았다.

배드민턴 셔틀콕의 궤적은 스포츠 과학 분야에서는 흥미로운 연구주제이다. 기존연구[6,13]에서의 공통적인 접근 방법은 셔틀콕의 초기 발사 속도와 드래그 포스(Drag Force)를 고려해서 궤적 수식을 유도하는 것이다. 드래그 포스란 셔틀콕의 진행방향과 반대로 작용하면서 셔틀콕 앞에서 뒤로 지나가는 공기흐름 때문에 발생하는 힘이다. 셔틀콕 궤적에 대한 기존 연구에서는 직선 비행거리와 고도 변화만을 고려하고 있다. 그 이유는 스포츠 과학 분야의 입장에서는 셔틀콕의 생김새와 재질이 체공 시간 및 최대 비행 거리에 미치는 영향을 중요시하기 때문이다. 따라서 임의의 방향으로 출발한 셔틀콕의 궤적에 대한 공식이 정리되어 있지 않다. 또한, 셔틀콕의 비행 시에 출발 속도를 제외한 외적 힘의 개입을 전혀 고려하지 않고 있다. 배드민턴 컴퓨터게임 측면에서는 재미를 증가하고자 바람의 효과와 같은 외적 힘을 배드민턴 궤적 계산에 고려함이 필요하리라 생각한다.

본 논문에서 제안하는 모션 인식 방법은 쉽게 접근이 가능한 스마트폰을 이용함으로써, 별도의 모

션 캡처 기구를 구입하지 않는 채 모션 인식 기반의 게임을 즐길 수 있는 장점을 제공한다.

2. 배드민턴 스윙 인식

2.1 스마트폰 가속도 센서의 동작원리

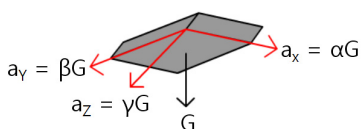
스마트폰에서는 여러 종류의 센서가 내장되어 있는데, 가속도 센서는 거의 모든 종류의 스마트폰에 존재한다. 가속도 센서는 이름대로 기기의 움직임 가속도를 감지할 수 있기에, 촬영 시 떨림을 보정하는 용도와 같은 다양한 목적으로 활용되고 있다.



[Fig. 1] The Local Coordinate System of a Smartphone

[Fig. 1]은 전형적인 스마트폰의 지역좌표계이다. 스마트폰의 3축 가속도 센서는 각 좌표축 방향의 가속도를 별도로 감지할 수 있다. 따라서 가속도 센서 값은 벡터형태로서, $\langle ax, ay, az \rangle$ 와 같이 표현할 수 있다. 여기서, ax 는 x축 방향, ay 는 y축 방향 및 az 는 z축 방향의 값을 나타낸다.

각축 가속도 센서의 값이 0, 양수 또는 음수인지에 따라 움직임의 종류를 알 수 있다. 예를 들어, ax 가 0이면, x축으로 움직임이 없거나 또는 일정 속도로 움직임을 나타낸다. 만약 그 값이 양수이면, x축 양의 방향으로 가속이 되거나 또는 x축 음의 방향으로 감속됨을 나타낸다. 그 값이 음수인 경우는 양수인 경우의 반대이다.



[Fig. 2] The Effect of Gravity on a Smartphone

스마트폰 가속도 센서는 중력 가속도를 항상 감지한다. 따라서 스마트폰이 움직이지 않는 상태에서, [Fig. 2]와 같이 각 축 센서는 중력 가속도에 의한 일정한 성분을 감지하게 된다. [Fig. 2]에서의 α , β 및 γ 는 스마트폰의 방향(orientation)에 따라 결정된다[3,4].

중력 가속도 때문에 스마트폰을 손에 쥔 채 스윙을 하였을 때, 가속도 센서의 값만으로 스윙 속도를 알아내는 것은 어려움이 많다. 스마트폰의 가속도 센서는 스윙에 따른 가속도와 움직임을 함께 감지하기 때문이다. 가속도 센서의 값에서 중력 가속도 성분을 제거하기 위해서는 스마트폰의 방향, 즉 각 축과 지면이 이루는 각도에 따라 결정된다. 스마트폰 방향의 변화를 추적하려면 자이로 센서를 이용하면 된다[14]. 하지만 스마트폰에 내장된 자이로 센서는 신호에 잡음이 많고 또한 배드민턴 스윙과 같이 빠른 방향 변화를 정확히 감지할 정도의 성능을 가지지 못한다. 따라서 자이로센서는 대부분 단순하고 느린 동작의 인식에 사용되고 있다[14].

2.2 배드민턴 스윙의 특징

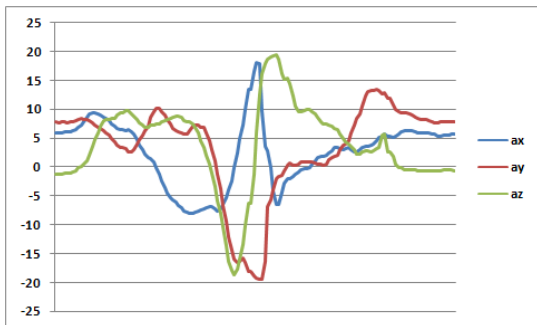
배드민턴 스윙은 다양한 타입의 동작으로 세분화된다. 크게 서비스 동작과 플레이 동작으로 구분되고, 플레이 동작은 하이클리어, 스매시, 헤어핀 등의 동작으로 구성된다. 서비스 동작이나 헤어핀 동작은 상대적으로 간단하지만, 하이클리어나 스매시 동작은 복잡한 절차를 거쳐 진행된다.

컴퓨터 게임에서 정확한 배드민턴 스윙은 주어진 타임 윈도우내에서 이루어져야 할 것이다. 타임 윈도우의 시작 시점을 T_S 과 끝 시점을 T_E 라고 하면, T_S 과 T_E 는 상황에 따라 정해 질 것이다. 예를 들어, 사용자의 코트 영역으로 상대방이 타격했던 셔틀콕이 넘어 온 경우에는, T_E 는 컴퓨터 화면상 자신의 아바타에 셔틀콕이 도착하기 직전, 그리고 T_S 는 $T_E - \Delta$ 가 된다. Δ 는 타임 윈도우의 크기를 나타낸다.

우리는 [4]와 같이 매 배드민턴 스윙이 다음 같

은 3가지 단계로 진행됨을 가정한다: 준비 → 타격 → 마무리. 준비 단계는 스마트폰을 한 손으로 쥐고 세운 상태로 한동안 정지 상태로 있는 것이다. 그리고 타격 단계는 스윙 타입에 따라 적절한 동작을 취하는 것이고, 마무리는 타격 후 준비 단계의 자세로 돌아와 한동안 정지 상태로 있는 것이다. 준비 단계와 마무리 단계에서 정지 상태는 적어도 0.5초 정도라고 가정한다.

[Fig. 1]은 포핸드 하이클리어 스윙에서 발생하는 센서 신호를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 신호의 앞부분과 뒷부분에는 값이 변화하지 않는 구간이 존재한다. 이것은 정지 단계와 마무리 단계에서 정지 상태로 인한 것이다. 이와 같이 정지 상태는 타격이 일어나는 신호 구간을 파악하는데 도움을 준다. 타격 단계에서의 각 축의 센서 값을 분석해 보면, 스윙이 진행되면서 스마트폰의 위치 및 방향이 어떻게 변해가는 지를 해석할 수 있다.



[Fig. 3] Forehand High Clear

2.3 스윙 인식

2.3.1 특징 벡터 생성

같은 타입의 배드민턴 스윙인 경우에도, 매 스윙마다 조금씩 다른 센서 신호를 발생한다. 대표적인 요인은 스윙 템포, 타이밍, 세기, 스윙 궤적을 들 수 있다. 따라서 원천(raw) 센서 신호를 이용해서 스윙 인식을 하는 데는 큰 어려움이 있다. 따라서 이들 요인의 영향을 줄여 줄 수 있도록, 우리는 센

서 신호에서 먼저 특징 벡터를 추출한 후, 이를 스윙 타입 인식에 사용한다.

입력 신호 S 는 $\langle S_x, S_y, S_z \rangle$ 로 구성되는데, S_i , $i=x, y, z$ 는 좌표축 i 의 가속도 센서가 감지한 신호를 나타낸다. [Fig. 4]는 주어진 센서 신호 S 에서 특징 벡터 V 를 추출하는 과정을 보여준다.

- | |
|--|
| Step 1) For each i , denoise sensor signal S_i and obtain S'_i . |
| Step 2) For each i , extract D_i , the signal segment at hitting phase of S'_i . |
| Step 3) For each i , normalize D_i and obtain signal U_i . |
| Step 4) Extract feature vector V from U_x, U_y , and U_z . |

[Fig. 4] A Process of Feature Vector Extraction

Step 1에서 잡음 제거는 평균 필터(mean filter)를 이용해서 한다. Step 2에서는 잡음이 제거된 신호인 S'_i 에서 앞뒤의 평평한 구간을 제거함으로써 타격단계의 신호 구간 D_i 를 추출할 수 있다. D_i 는 아래 1)과 2)를 통해서 구할 수 있다. $S_i(t)$ 는 시점 t 에서의 신호 샘플, 즉 센서 값을 나타낸다.

$$1) Me = \sum_{t=1}^N S'_i(t) / N$$

2) 다음을 만족하는 가장 작은 Th 를 찾는다:

$$Th \geq N+1, |S'_i(Th) - Me| > G$$

처음 N 개 신호 샘플의 평균을 구한 후, 이 값과 적어도 G 이상 차이가 나는 첫 신호 샘플인 $S'_i(Th)$ 를 찾는다. 따라서 $D_i(1)$ 은 $S'_i(Th)$ 가 된다. 비슷한 방법으로 D_i 의 마지막 신호 샘플을 구할 수 있을 것이다.

같은 타입의 배드민턴 스윙이라도 매번 스윙 속도 및 타이밍이 다르기 때문에, D_i 는 길이나 크기가 달라진다. 이런 이유에서 Step 3에서는 타격 단계의 신호인 D_i 를 정규화해서, 신호 U_i 를 구한다. U_i 은 길이가 L 이고, 모든 신호 샘플의 값은 0에서

1 사이에 존재하는 특징을 갖는다. 만약 D_i 의 길이가 L 보다 작으면 일부 신호 샘플들을 복사해 추가하고, L 보다 크면 일부 신호 샘플들을 제거함으로써 U_i 의 길이가 L 이 되도록 맞춘다. L 은 실험적으로 결정할 수 있는데, 우리는 256으로 하였다.

D_i 의 신호 샘플들 중 최소값을 $minVal$, 최대값을 $maxVal$ 라고 하면, 각 $U_i(t)$ 는 $(D_i(t) - minVal) / (maxVal - minVal)$ 로 정의된다.

Step 4에서는 정규화된 신호인 U_i 에서 다우비시-8 웨이블릿 계수들(Daubechies-8 Wavelet Coefficients)을 계산하고, 이들을 이용해서 특징 벡터를 정의한다. 좀 더 자세히 설명하면, U_i 의 웨이블릿 계수 리스트를 C_i 라고 하면, 특징 벡터 V 는 $\langle C_x, C_y, C_z \rangle$ 형태로 정의된다.

다우비시 웨이블릿 계수[15]는 가장 많이 응용되는 DWT(Discrete Wavelet Transform) 계수들 중 하나로서, 지금까지 주로 잡음제거, 생체 신호 분석[16], 음성 인식[17] 및 운동 동작 인식[4] 등에서 적용되고 있다. 다우비시 웨이블릿 계수는 디지털 신호의 주파수적 특성과 지역적 특성을 반영할 수 있기에, 우리의 실험결과 배드민턴 스윙 신호도 전체 형상과 세부적 사항을 적절히 포착할 수 있음을 알 수 있었다.

2.3.2 스윙 인식

[Fig. 5]는 주어진 스윙 신호에서 스윙 타입을 인식하는 알고리즘을 기술하고 있다. 배드민턴 스윙 인식을 위한 알고리즘으로 k-NN(k-Nearest Neighbor)[5]를 이용한다. 주어진 특징 벡터에 대해서, 데이터베이스 내에서 가장 가까운 특징벡터 k 개를 파악한 후, 이들 중 가장 많은 스윙 타입을 인식 결과로 출력한다. 두 특징 벡터들 사이의 가까운 정도는 그들 간의 유클리디언 거리로 정의한다.

인식에 앞서, 예제 스윙들의 특징 벡터들로 학습 데이터베이스를 채운다. 실제 배드민턴 게임에서 서비스와 스트로크 플레이가 일어나는 시점이 다르기에, Step 2에서와 같이 입력 신호가 서비스 동작

인지 스트로크 동작인지를 미리 구분하여 스윙 타입을 인식한다. $Database_{service}$ 은 샷 서비스와 룡 서비스 동작 신호들의 특징벡터들로 구성된 데이터베이스를, $Databas_{stroke}$ 는 스트로크 플레이 시 발생하는 동작 신호들의 특징 벡터들로만 구성된 데이터베이스를 나타낸다. $Database_{BHC,BS}$ 는 백핸드 하이클리어와 백핸드 스매시를 위한 특징 벡터들로 구성된 데이터베이스를 각각 나타낸다.

백핸드 하이클리어와 백핸드 스매시는 먼저 몸통을 역회전한 후 다른 종류의 스트로크에 비해 다소 복잡한 스윙 동작을 진행한다. 또한 그들의 모션 신호는 서로 유사한 점이 많다. 우리의 실험에 의하면 전체 스윙 과정에서 몸통의 회전 후의 손의 높낮이, 스윙을 마무리한 후 손목의 꺾임 정도에 따라 인식오류가 발생할 가능성이 높았다. Step 2-2에서의 인식결과가 이들 신호 중 하나라면, Step 2-3에서는 이들 두 신호를 대상으로 신호 타입을 재인식하는 과정을 거친다.

```

Step 1) For given signal S, extract feature vector V.
Step 2)
if(S is a service signal) then
    Step 2-1) Using  $Database_{service}$ , perform swing recognition by K-NN method.
else { //S is a stroke signal.
    Step 2-2) Using  $Databas_{stroke}$ , perform swing recognition by K-NN method.
    Step 2-3) //postprocessing
        if(the recognition result is 'backhand high clear' or 'backhand smash') then
            Step 2-3-1) Using  $Database_{BHC,BS}$ , perform swing recognition by K-NN method again.
        }
    }
Step 3) Print the recognized swing type.
    
```

[Fig. 5] A Process of Swing Type Recognition

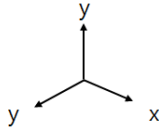
3. 셔틀콕의 궤적 계산

[Fig. 6]과 같은 월드 좌표계의 x-y 평면상을 비행 중인 배드민턴 셔틀콕의 궤적은 다음 식 E1 및 E2로부터 유도 가능하다[6]. 비행 중인 셔틀콕은 항상 x축 방향으로 전진하면서, y축 방향으로 높낮이가 변화하게 된다.

$$\vec{W} + \vec{F} + \vec{B} = m\vec{a}. \quad (E1)$$

$$\vec{F} = bv \quad (E2)$$

\vec{W} 는 중력, \vec{F} 는 공기에 의한 드래그 힘(drag force), 그리고 \vec{B} 는 부력, m과 \vec{a} 은 각각 셔틀콕의 질량 및 가속도, 그리고 v는 셔틀콕의 속도이다. b와 n은 셔틀콕의 재질 및 모양등과 같은 특징에 의해 결정되는 상수이다. 본 논문에서는 n=1로 가정한다.



[Fig. 6] A World Coordinate System

셔틀콕의 초기 위치 벡터 $P_i = \langle 0,0,0 \rangle^T$, 초기 속도 벡터 $v_i = \langle v_{ix}, v_{iy}, 0 \rangle^T$ 인 경우, 셔틀콕의 위치 $\vec{P}(t)$ 는 위의 식에서 다음과 같이 유도될 수 있다[6]:

$$\vec{P}(t) = \left\langle \begin{array}{l} \frac{v_T v_{ix}}{g} (1 - e^{-\frac{gt}{v_T}}), \\ \frac{v_T}{g} (v_T + v_{iy}) (1 - e^{-\frac{gt}{v_T}}) - v_T t, \\ 0 \end{array} \right\rangle^T \quad (E3)$$

여기서, $v_T = \frac{mg}{b}$ 이다.

초기 속도 벡터가 x-y 평면상에 있지 않고 $v_i = \langle v_{ix}, v_{iy}, v_{iz} \rangle^T$, 초기 위치 $P_i = \langle p_x, p_y, p_z \rangle^T$ 인 경우, $\vec{P}(t)$ 는 다음과 같이 다시 정의할 수 있다:

$$v'_i = R_y(\theta)v_i = \langle v'_{ix}, v'_{iy}, 0 \rangle^T \quad (E4)$$

$$\vec{P}(t) = \left\langle \begin{array}{l} \frac{v_T v'_{ix}}{g} (1 - e^{-\frac{gt}{v_T}}), \\ \frac{v_T}{g} (v_T + v'_{iy}) (1 - e^{-\frac{gt}{v_T}}) - v_T t, \\ 0 \end{array} \right\rangle^T \quad (E5)$$

$$\vec{P}(t) = P_i + R_y(-\theta)\vec{P}(t) \quad (E6)$$

여기서, $\theta = \tan^{-1}(\frac{v_{iz}}{v_{ix}})$ 이고, $R_y(\theta)$ 는 y축으로 θ 만큼 회전을 나타내는 매트릭스이다. v'_i 는 초기 속도 벡터인 v_i 를 θ 회전한 것으로서, x-y 평면상에 놓이게 된다. $\vec{P}(t)$ 는 원점에서 시작해서 초기 벡터가 v'_i 인 비행에 대한 위치 벡터이다. $\vec{P}(t)$ 는 $\vec{P}(t)$ 을 y축으로 $-\theta$ 만큼 회전하고, 초기 출발 위치 P_i 만큼 이동시킴으로써 구한다.

게임적 흥미를 높이기 위해 궤적 계산에서 바람과 같은 외적 힘을 고려해 보자. 바람은 비행하는 물체입장에서는 하나의 외적 힘으로 고려될 수 있다. 외적 힘에 의한 궤적 변이 $O(t)$ 는 $\langle O_x(t), O_y(t), O_z(t) \rangle$ 로 표현할 수 있을 것이다. 따라서 $O(t)$ 를 고려한 위치 벡터 $\vec{P}(t)$ 는 다음과 같이 재정의된다:

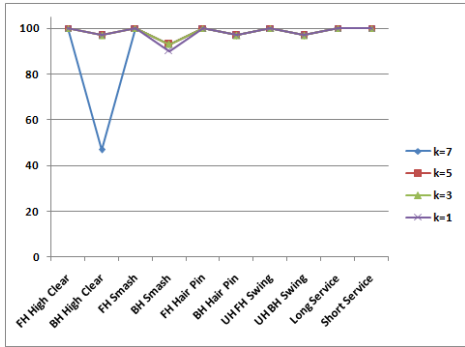
$$\vec{P}(t) = P_i + R_y(-\theta)\vec{P}(t) + O(t).$$

각 $O_i(t)$, $i=x, y, z$ 는 응용에 맞게 적절하게 정하면 될 것이다. 바람과 같은 외부 힘이 가해지면 물체의 가속도가 발생하기 때문에, 물체의 이동 거리는 시간 t의 자승에 비례해서 증가할 것이다. 예를 들면, 상수 a, β, γ 에 대해 $O(t) = \langle at^2, \beta t^2, \gamma t^2 \rangle$ 가 될 수 있다.

4. 실험

본 논문에서 제안한 배드민턴 스윙 인식 방법을 VC++를 이용해서 구현하고 그 정확성을 분석하였다. 각 스윙 타입별로 40개의 스윙 신호를 확보한 후, 그 중 10개는 학습용으로 나머지는 인식용으로 사용하였다. 먼저 학습데이터베이스를 구성한 후,

각 스윙타입별로 30개의 모션 신호에 대해서 본 논문에서 제안한 배드민턴 스윙 인식 방법의 성능을 테스트하였다.



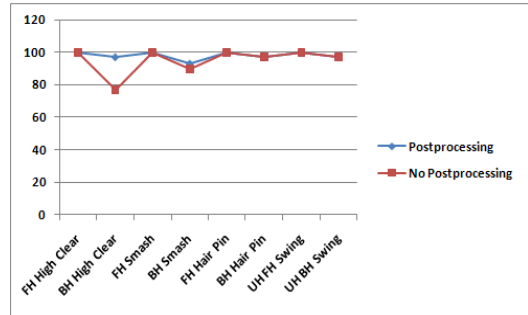
[Fig. 7] Comparison of Recognition Rates

[Fig. 7]은 그 테스트의 결과를 보여준다. 앞에서 언급하대로, 우리의 인식 방법이 k-NN에 기반을 두고 있기에, 여러 k의 값들 간의 인식률 차이를 보여주고 있다. k=5 또는 3의 경우에 가장 인식률이 높았고, k 값이 그보다 줄어 늘거나 늘어나는 경우에는 인식률이 떨어지는 경향을 보였다. k=7인 경우에 특히 백핸드 하이클리어 타입의 입력 신호에 대해서 인식률이 저조하였는데, 유사한 동작 모습을 가진 백핸드 스매시이나 언더핸드 백핸드 스윙으로 오해되는 경우가 많았다. k 값에 무관하게 백핸드 스트로크 동작이 포핸드 스트로크에 비해 인식률이 낮았다. 그 이유는 백핸드 스트로크 동작은 상대적으로 복잡한 스윙 패턴을 가지므로 플레이어가 포핸드 스트로크에 비해서 정확하고 일관성 있는 스윙 패턴을 유지하기 어려운 것으로 판단된다. 롱 서비스나 숏 서비스의 경우에는, 입력 신호를 이들 중 하나로 구분해 내는 것임으로써 거의 100%에 가까운 높은 인식률을 보이고 있다.

학습데이터베이스 구성에 참여한 플레이어의 동작 패턴과 테스트를 담당한 플레이어의 동작 패턴이 크게 다른 경우에는 인식률이 아래 그림보다 다소 떨어진다. k=5나 3으로 설정하면 종합적인 인식률이 95% 이상이 되어, 플레이어가 표준 스윙

동작을 대체적으로 준수한다면 본 논문에서 제안한 모션 인식 방법은 체감형 배드민턴 게임에 적용하는데 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다.

[Fig. 8]은 [Fig. 5]의 알고리즘에서 Step 2-3의 유용성을 보여주고 있다. Step 2-3에서는 앞 단계에서의 인식 결과가 백핸드 하이클리어나 백포핸드 스매시인 경우에, 이들을 대상으로 하여 재인식이라는 후처리 과정을 거치게 된다. 그림에서 보듯이, 후처리 과정을 거친 경우에 백핸드 하이클리어와 백핸드 스매시의 인식률이 현저히 좋아 짐을 알 수 있다.

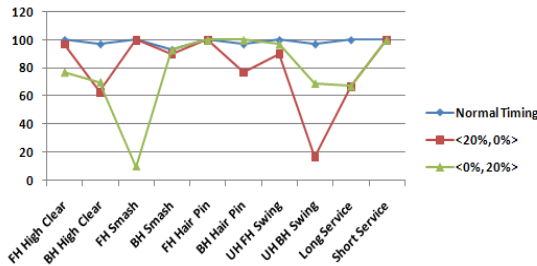


[Fig. 8] Dependency of Postprocessing on Recognition Accuracy (k=5)

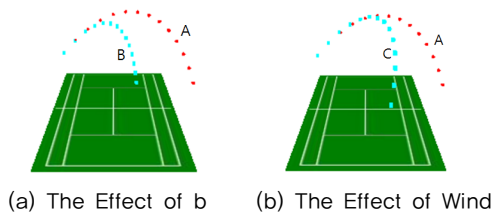
우리는 여러 스윙 타이밍 하에서의 인식률 변화를 파악하고자 간단한 배드민턴 게임을 구현하였다. 플레이어는 컴퓨터를 상대로 셔틀콕을 반대편 진영으로 타격하여 넘치게 된다. 플레이어의 스마트폰에서 발생하는 모션 신호가 스윙에 의한 것인지 아니면 손이나 몸의 일반 움직임에 의한 것인지를 구분하기 위해, 타임 윈도우를 설정한다, 즉, 타임윈도우 내에서 발생한 모션 신호를 대상으로, 스윙 타입을 인식하게 된다. 만약 셔틀콕의 비행 속도가 빠른 경우, 스윙의 모션 신호 전체는 타임 윈도우내에서 놓이지 않고, 앞부분이나 뒷부분이 잘려 나가게 된다. 앞부분이 잘려 나감은 플레이어의 스윙 타이밍 너무 빨랐음을, 뒷부분이 잘려 나감은 너무 늦었음을 의미한다.

[Fig. 9]는 모션 신호가 타임 윈도우내에 완전히 놓이지 않고, 앞부분의 20% 및 뒷부분의 20% 만큼

잘려 나간 경우에서의 인식률을 보여준다. 전자는 $\langle 20\%, 0\% \rangle$ 로 후자는 $\langle 0, 20\% \rangle$ 로 표현되어 있다. 그림에서처럼, 정상적인 스윙 타이밍에 비해 인식률이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 백핸드 스매시를 제외하고는 뒷부분이 잘려나간 경우가 앞부분의 경우보다 조금 인식률이 높음을 알 수 있다. 이것은 모든 스윙의 마지막 단계가 준비자세로 돌아오는 것이므로, 스윙 타이밍에 무관하게 거의 비슷하기 때문이라 판단된다. 참고로, 앞부분이나 뒷부분이 10% 정도 잘려 나간 경우에는 정상적인 스윙 타이밍과 비교해서 거의 인식률의 차이는 없었다.



[Fig. 9] The Effect of Swing Timing on Recognition Accuracy ($k=5$)



[Fig. 10] Shuttle Cock's Trajectory

3장에서 제안한 궤적 계산 방식을 OpenGL을 이용해서 시각화 해 봄으로써 그 유용성을 확인해 보았다. [Fig. 10]은 파라미터 b 의 효과와 바람의 효과를 보여준다. 셔틀콕의 초기 위치는 코트 상단 왼쪽 코너 부근이고, 초기 벡터 v_i 는 초기 위치에서 상대방 진영으로 넘어 오도록 설정하였다. 파라미터 $m=1$, 파라미터 $g=9.8$ 로 설정하였다. 파라미터 b 는 드래그 힘을 표현하는데, 궤적 A는 $b=1$, 궤적 B는 $b=2$ 에서 구한 궤적이다. A와 B의 차이

에서 b 의 값이 커지면 공의 비행에 방해가 되어 비거리가 줄어들음을 알 수 있다.

궤적 A는 바람이 불지 않는 상태를 가정하고 있다. 궤적 C는 $a=-1, \beta=0, \gamma=0.5$ 로 설명하였다. 이것은 바람의 방향이 오른쪽에서 왼쪽으로, 상단에서 하단으로 불어오는 것을 나타낸다. 따라서 궤적 C는 A에 비해 비거리가 늘어가면서 왼쪽으로 밀려 날아가는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 스마트폰에 내장된 가속도 센서를 이용해서 배드민턴 스윙 타이밍을 인식하는 방법을 제안하였다. 사용자가 스마트폰을 배드민턴 라켓처럼 손에 쥐고 스윙을 하면, 가속도 센서가 발생하는 모션 신호를 다우비시 필터를 이용해서 특징벡터로 변환한 후, 이를 k-NN 기반의 인식 방법을 통해서 스윙 타이밍을 알아낸다. 실험결과 본 방법은 높은 인식률을 보였다. 우리의 스윙 인식 방법을 이용하면, 상용 모션 컨트롤러를 구입하지 않아도 체감형 배드민턴 게임을 즐길 수 있는 장점이 있다.

테니스 셔틀콕은 특징상 독특한 비행 궤적으로 가지는데, 초기에 고속 비행한 후 급격히 속도가 감소하게 되고 마지막에는 정속으로 바닥으로 떨어진다, 우리는 바람의 영향을 고려한 배드민턴 셔틀콕의 비행 궤적 계산 방법을 제안하였다. 우리의 궤적 방법에서는 바람의 세기와 방향을 셔틀콕 궤적을 조절하는 파라미터로 사용할 수 있고, 실제 셔틀콕과 유사한 궤적을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Hankuk University of Foreign Studies Research Fund of 2013.

REFERENCES

- [1] <http://www.nintendo.com/wii>.
- [2] <http://www.xbox.com/en-US/>.
- [3] Y. Kurihara, et al., "Estimation of Walking Exercise Intensity Using 3-D Acceleration Sensor", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 42, No. 4, pp. 495-500, 2012.
- [4] Sangchul Kim, Zhong Yong Che, "A Method for Tennis Swing Recognition Using Accelerator Sensors on a Smartphone", *Journal of Korea Game Society*, 13(2), pp. 29-38, 2013.
- [5] k-NN Algorithm, rg/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm.
- [6] Ling-Ming Chen, Yi-Hsiang Pan, Yung-Jen Chen, "A Study of Shuttlecock's Trajectory in Badminton", *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 8, pp. 657-662, 2009.
- [7] Y. Ohgi, T. Baba, "Uncock Timing in Driver Swing Motion", *The Impact of Technology on Sport. ASTA*, pp. 349-354, 2005.
- [8] D. James, T. Gibson, W. Uroda, "Dynamics of a swing: A study of classical Japanese swordsmanship using accelerometers", *The Impact of Technology on Sport. ASTA*, pp. 355-360, 2005.
- [9] Amin Ahmadi, et. al., "Investigating the Translational and Rotational Motion of the Swing Using Accelerometers for Athlete Skill Assessment", *Proc. of IEEE Sensors*, pp. 980-983, 2006.
- [10] Damien Connaghan, et. al., "Multi-Sensor Classification of Tennis Strokes", *Proc. of IEEE Sensors*, pp. 28-31, 2011.
- [11] Antoon Th. M. Willemsen, Fedde Bloemhof, Herman B. K. Boom, "Automatic Stance-Swing Phase Detection from Accelerometer Data for Personal Nerve Stimulation", *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol. 37, No. 12, pp. 1201-1208, 1990.
- [12] Jun Yang, "Toward Physical Activity Diary: Motion Recognition Using Simple Acceleration Features with Mobile Phones", *Proceedings of the 1st international workshop on Interactive multimedia for consumer electronics*, pp. 1-10, 2009.
- [13] Julien Le Personnic, et. al, "Flight Trajectory Simulation of Badminton Shuttlecocks", *Proceedings of 5th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST)*, pp. 344-349, 2011.
- [14] Sven Kratz, Michael Rohs, Georg Essl, "Combining Acceleration and Gyroscope Data for Motion Gesture Recognition Using Classifiers with Dimensionality Constraints", *Proceedings of the 2013 International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 173-178, 2013.
- [15] A. Khare, U. S. Tiwary, "Daubechies Complex Wavelet Transform Based Moving Object Tracking", *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Image and Signal Processing (CIISP)*, pp. 36-40, 2007.
- [16] Elif Derya Ubeyil., "Combined Neural Network Model Employing Wavelet Coefficients for ECG Signals Classification", *Digital Signal Processing*, Vol 19, pp. 297-308, 2009.
- [17] B. T. Tan, et. al., "The Use of Wavelet Transforms in Phoneme Recognition", *Proceeding on Fourth International Conference on Spoken Language*, pp. 2431-2434, 1996.
- [18] Eui-Young Kim, Chang-Hoon Park, Dae-Geun Kim, "A Study on Effectiveness and Preference of Tangible Fitness Game", *Journal of Korea Game Society*, 12(1), pp. 79-90, 2012.



김 상 철 (Kim, Sangchul)

1994.5 미시간주립대학교 컴퓨터공학과 박사
1983.3-1994.8 ETRI 연구원
1994.9-현재 한국외국대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 기능성게임, 게임 AI, 멀티미디어시스템

