

Recognition of Basic Motions for Snowboarding using AHRS

Ki-Hyeon Kwon*, Hyung-Bong Lee**

Abstract

Internet of Things (IoT) is widely used for biomechanics in sports activities and AHRS(Attitude and Heading Reference System) is a more cost effective solution than conventional high-grade IMUs (Inertial Measurement Units) that only integrate gyroscopes. In this paper, we attach the AHRS to the snowboard to measure the motion data like Air To Fakie, Caballerial and Free Style. In order to reduce the measurement error, we have adopted the sensors equipped with Kalman filtering and also used Euler angle to quaternion conversion to reduce the Gimbal-lock effect. We have tested and evaluated the accuracy and execution time of the pattern recognition algorithms like PCA, ICA, LDA, SVM to show the recognition possibility of it on the basic motions of Snowboarding from the 9-axis trajectory information which is gathered from AHRS sensor. With the result, PCA, ICA have low accuracy, but SVM have good accuracy to use for recognition of basic motions of Snowboarding.

▶ Keyword : Snowboarding, LDA, SVM, AHRS, Kalman Filter

I. Introduction

사물인터넷(Internet of Things)은 센서, 마이크로프로세서 및 네트워크 등의 요소 기술이 유기적으로 결합된 기술로서, 최근 웨어러블(wearables) 기기, 재난방지 및 다양한 서비스 분야에서 응용되고 있다. 스포츠 분야에도 IoT 기술 접목을 통해 연습 훈련 지원 시스템 개발 및 주요 동작의 정확한 관측을 통해 심사위원의 주관적 판정 및 오류를 보완하는 보조도구에 대한 필요성이 증대하고 있으며[1][2], 상대방의 공격으로부터 몸과 얼굴을 보호하는 호구에 전자센서 시스템을 장착한 전자호구(Electronic Body Protect), 테니스, 크리켓, 미식축구와 같은 구기 종목에서 경기 중 공의 위치와 궤도를 추적하고 통계적으로 분석하는 호크아이(Hawkeye)와 자기장 유도칩 기반 기술을 응용하여 골라인을 통과하면 자동으로 심판이 소유한 시계로 사실을 알리는 골레프(GoalRef) 등과 같은 여러 제품들이 출시되어 지고 있다.

이러한 연구들은 주로 AHRS(Attitude Heading Reference System) 센서를 이용하여 자세 안정에 활용하고 있다[3]. AHRS 센서는 관성 센서(Inertial Sensor)를 탑재하여 차량 또

는 항공기의 동체의 자세, 위치, 궤적의 추정이 가능하며, 게임, 가상현실, 로봇 등 넓은 분야에 다양하게 사용되고 있다 [4]. 현재 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술의 발달로 관성 센서의 성능이 향상되어 소형, 저가형으로 개발되고 있다. 또한 3축 자이로스코프, 3축 가속도 센서, 3축 지자기 센서가 하나로 통합되어 Roll, Pitch, Yaw 각도를 보다 정확하게 구할 수 있는 9-axis AHRS 센서가 출시되면서 신발이나, 옷, 허리띠 등에 자연스러운 부착이 가능하다. AHRS 관련 연구로 무선 선체 운동 측정 연구[5], AHRS를 이용한 스튜어드 플랫폼의 평형유지 연구[6]이 있고 스노보드 관련 연구로 스노보드 제어에 관한 연구[7], 스노보드의 특성 분석에 대한 연구 [8]이 진행되었다.

본 연구에서는 동계스포츠 종목의 관심 증대와 더불어 젊은 사람들 사이에서 대중화 되고 있는 스포츠 종목 중의 하나인 스노보딩에 AHRS를 적용하여 에어 투 페이키(Air To Fakie), Caballerial, 프리스타일 등의 주요 동작을 AHRS를 통해 측정, 인식하고 연습 훈련을 지원하는 시스템을 설계하였다. 그리고 AHRS 센서의 측정 오차를 줄이기 위해 칼만 필터를 적용하였

• First Author: Ki-Hyeon Kwon, Corresponding Author: Hyung-Bong Lee

*Ki-Hyeon Kwon(kweon@kangwon.ac.kr), Dept. of Electronics, Information & Communication Engineering, Kangwon National University

**Hyung-Bong Lee (hblee@gwnu.ac.kr), Dept. of Computer Science & Engineering, Gangneung-Wonju National University

• Received: 2015. 12. 22, Revised: 2016. 01. 11, Accepted: 2016. 02. 26.

으며, 짐벌락 현상(Gimbal Lock)을 줄이기 위해 쿼터니언(Quaternion)을 이용하였다[9][10][11].

측정된 데이터셋의 인식을 위해 패턴인식 주요 알고리즘인 PCA(Principal Component Analysis), ICA(Independent Component Analysis), LDA(Linear Discriminant Analysis) 그리고 SVM(Support Vector Machine)을 사용하고 어떤 알고리즘이 인식을 및 실행시간 측면에서 가장 적합한지 제시한다.

II. Measurement System

2.1 Architecture of Measurement System

시스템의 구성은 Fig. 1과 같이 사용자의 동작을 스노보드에 장착된 9축 센서를 통해 측정하고 시리얼(uart)을 통해 아두이노 보드로 전송한 다음, 블루투스 통신을 통해 안드로이드 스마트폰과 연동된다.

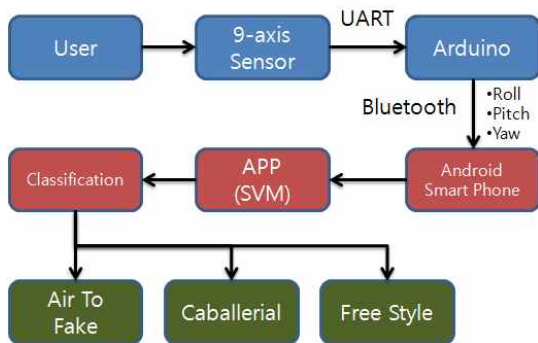


Fig. 1. System Configuration

안드로이드 스마트폰 애플리케이션에서 패턴인식 알고리즘을 적용하여 스노보딩 동작을 인식한다.

스노보딩 기본 동작을 실시간 계측하기 위해 사용된 관성측정장치(IMU)의 자세측정시스템(AHRS) 센서는 자이로 3축, 가속도 3축, 지자기 3축이 탑재된 EBIMU-9DOFV2 9축 지자기 센서(Fig. 2)를 사용하였으며, 센서 데이터처리를 위해 아두이노 우노 플랫폼을 사용하였다(Fig. 3). AHRS 센서는 Roll, Pitch, Yaw 오일러 각도와 Compass / Heading, 3축 자이로, 3축 가속도, 3축 지자기의 값을 취득하며 UART를 사용하여 컴퓨터로 전송한다.

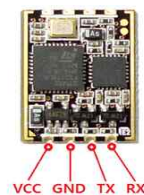


Fig. 2. EBIMU-9DOFV2 9-axis Sensor

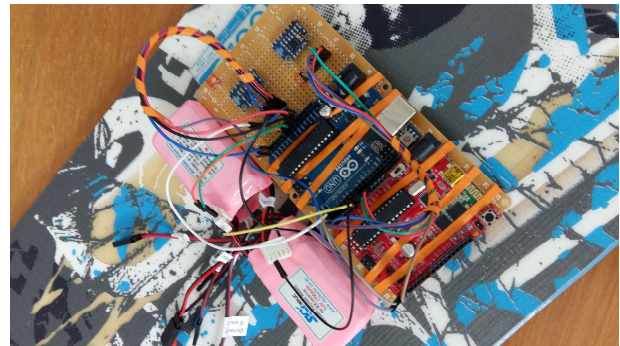


Fig. 3. Measurement System of Basic Motion for Snowboarding

2.2 Basics Motions of Snowboarding

스노보딩 회전의 중요한 요소는 스노보드의 에징(edging) 즉, 상체와 질량의 중심의 운동을 끄는 동작이며, 주요 동작은 에어 투 페이키(Air To Fakie), Caballerial, 프리스타일 등이 있다.

가) Air To Fakie (에어 투 페이키)

에어 동작 후에 보드의 방향이 바뀌는 것을 말한다. 특별한 기술을 펼치지 않고 에어 동작을 하면서 랜딩 시 보드의 방향만 반대로 바뀌게 되며 세로 방향으로 한 바퀴에 대해 측정하였다. Fig. 4는 에어 투 페이키 동작에 대한 3D 궤적이다.

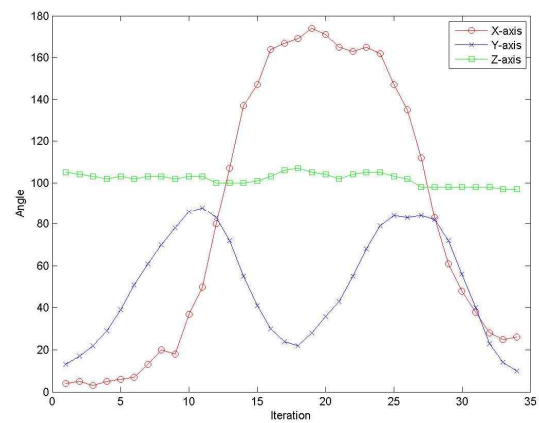


Fig. 4. Measurement of Air To Fakie

나) Caballerial

웨이키로 시작하는 트릭으로 약 360도를 돌아 원래 자세로 착지하는 동작이다. Fig. 5는 Caballerial 동작에 대한 3D 궤적이다.

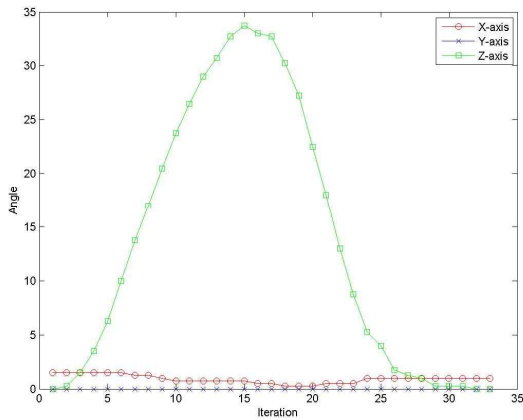


Fig. 5. Measurement of Caballerial

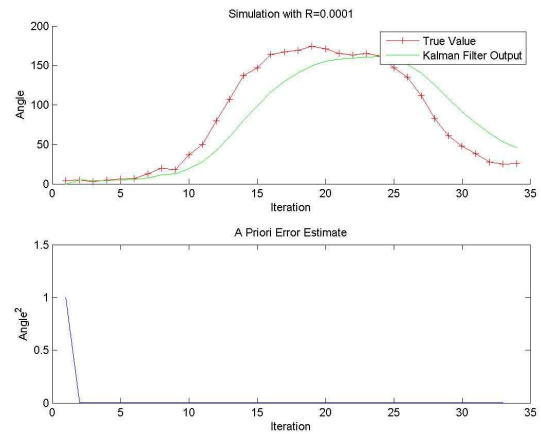


Fig. 7. Kalman Filtering of x-axis for Air To Fakie

다) Free Style

프리스타일로는 옆 회전 한 바퀴 동작에 대해 측정하였다. Fig. 6은 프리스타일 옆 회전 한 바퀴 동작에 대한 3D 궤적이다.

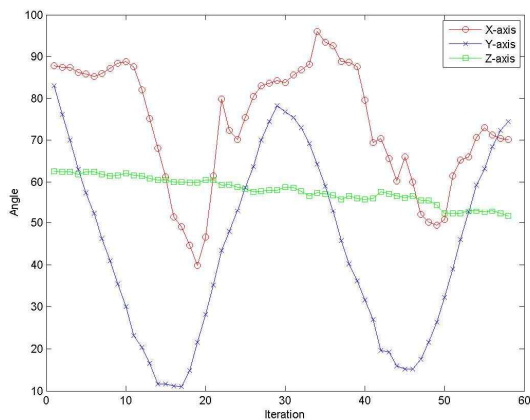


Fig. 6. Measurement of Free Style

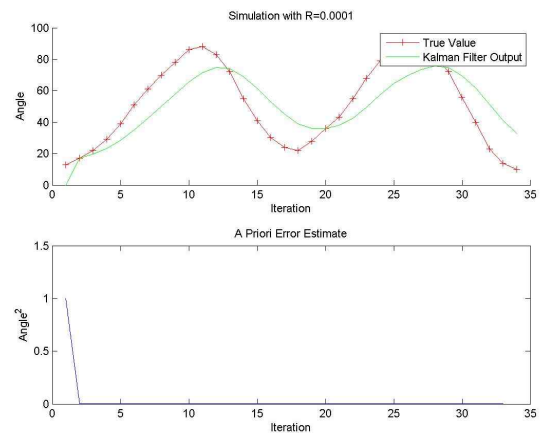


Fig. 8. Kalman Filtering of y-axis for Air To Fakie

라) 칼만 필터 적용

칼만 필터는 순환적 선형구조를 가지고 있고, 알고리즘이 단순하고 수렴성이 좋으며, 이전의 스펙트럼 분석 방식에서 벗어나 시간 영역에서 직접적인 처리가 가능하므로 컴퓨터에서 사용하기에 적합한 방법이다. 칼만 필터의 처리과정은 크게 예측 단계와 갱신단계로 나누어진다. 예측 단계에서는 현재의 상태와 모델을 이용해 다음 측정시간의 상태와 처리잡음의 분산 값을 예측하고 계산된 처리잡음과 측정 잡음 분산을 이용하여 칼만 게인을 계산 후 측정한다[12]. 본 연구에서는 자이로 센서와 가속도 센서를 칼만 필터에 적용하여 예측범위에서 벗어난 오차를 보정한다. Fig. 7, 8, 9는 공분산 R의 값을 0.0001로 설정하고 에어 투 페이크 동작의 x, y, z 축 각각에 대해 칼만 필터를 적용한 결과이다.

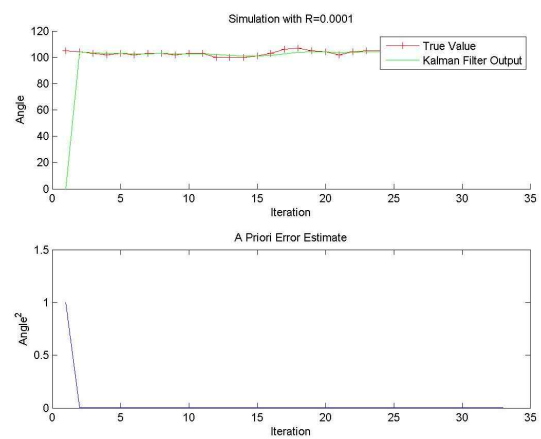


Fig. 9. Kalman Filtering of z-axis for Air To Fakie

2.3 Cross Correlation

스노보딩 기본동작에 관한 궤적을 구하면 사용자 마다 동작 특성이 같지 않기 때문에 훈련 및 테스트 데이터셋의 길이가 사용자 마다 일치하지 않는다. 이를 보정하기 위해 상호 상관

보정(cross-correlation)을 사용하였다. 이 방법은 두 시계열간 시간 지연을 찾기 위한 표준방법으로 널리 사용된다[13]. 두 함수 f와 g의 상호상관을 구하는 함수는 식 (1)과 같이 정의된다. Fig. 10은 에어 투 페이키 동작의 x, y, z 축 각각에 대해 상호 상관 보정을 한 결과이다.

$$(f * g)[n] \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m]g[n+m] \tag{1}$$

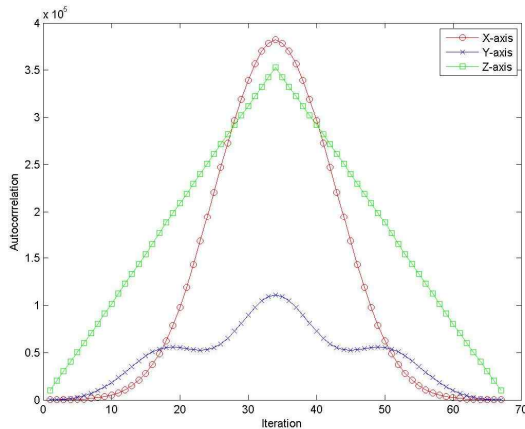


Fig. 10. Cross Correlation of Air To Fakie

2.4 Quaternion (쿼터니언)

오일러 각(Euler angle)은 3차원 공간상에서 x, y, z 각 축의 회전량을 정해진 순서대로 적용했을 때 물체의 모든 방향을 표현할 수 있는 방법[9]이며 세 축의 회전에 대한 연산을 동시에 적용할 경우에 행렬을 사용하면 한축이 소실되는 짐벌락(Gimbal Lock) 현상이 발생할 수 있다[10].

이 문제를 해결하기 위해, 장치에 부착된 관성 센서의 회전과 가속도를 통합하여 주행 방향과 속도를 구하는 쿼터니언(quaternion) 방법을 사용한다[11].

III. Pattern Recognition

스노보딩 기본 동작에 대해 인식의 효율성을 측정하기 위해 주요 패턴인식 알고리즘으로 잘 알려진 PCA, LDA, ICA, SVM의 성능을 도출하고자 한다.

3.1 PCA(Principal Component Analysis)

잘 알려진 패턴인식 알고리즘인 고유치(eigen value)[14]를 찾는 문제로 주성분분석(PCA)에 기반을 두고 있다.

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \tag{2}$$

$$w_k = u_k^T (\Gamma - \Psi) \tag{3}$$

PCA는 모든 데이터세트에서 유사성을 찾아 차원을 줄이는 방법을 사용한다. M개의 데이터세트가 있을 때, 이 데이터세트를 칼럼벡터($\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M$)로 표현하고, 평균치(식 2)를 구해, 각 데이터세트에서 빼면, $\Phi_i = \Gamma_i - \Psi$ 가 구해지고. 모든 데이터세트에서 평균값을 뺀 데이터세트 $A = [\Phi_1 \Phi_2 \dots \Phi_M]$ 가 만들어진다. PCA는 데이터를 잘 표현하는 직교벡터를 찾는 방법으로, 이들 벡터는 공분산 $C = AA^T$ 의 고유벡터가 된다. 고유치 견지에서, 각 데이터세트는 M'개의 의미가 큰 고유벡터 u_k 을 사용하게 되며 가중치(식 3)가 구해진다. 훈련 데이터세트와 새 데이터세트의 가중치를 알면, NN(nearest neighbor) 방법을 사용하여 대상을 식별하게 된다. 고유치를 이용한 방법은 단순하고 빠른 장점이 있으나, 포즈, 표현, 조도에 따라 정확도가 낮아지는 문제점이 있다.

3.2 ICA(Independent Component Analysis)

PCA와 유사하게, ICA도 입력 데이터세트의 차원을 줄일 벡터를 찾는 방법이다[15]. 그러나 ICA는 벡터의 직교규격화(orthonormalization)를 필요로 하지 않으므로 데이터세트 값에서 고차 의존도를 활용할 수 있게 된다. PCA에서 데이터세트의 1차 통계량인 평균을 빼는 것처럼, ICA도 1차, 2차 통계량을 제거한다. 평균이 제거된 각 데이터세트는 X에 행벡터로 저장, 백색화 매트릭스(식 4)와 곱한다. ICA는 여러 데이터세트가 행벡터로 저장된 매트릭스 $U = WX$ 에서, 통계적으로 독립된 데이터세트를 찾는 것이다. PCA와 비교하여 U의 행은 고유치로 볼 수 있고, W^{-1} 은 각 데이터세트의 가중치가 된다. ICA는 입력 데이터세트의 특성을 보다 잘 반영할 수 있으나, 처리 속도가 느리다.

$$W_z = 2cov(X)^{-1/2} \tag{4}$$

3.3 LDA(Linear Discriminant Analysis)

PCA, ICA의 문제점중 하나는 같은 데이터세트간의 가중치간 거리가, 다른 데이터세트의 가중치 거리보다 커진다는데 있다. 이 문제를 바로잡기 위한 방법이 Fisherface[16]이며, LDA에 기반을 두고 있다. 이 알고리즘은 클래스 내부의 산포도를 최소화하고 클러스터와 클러스터 사이를 최대화하도록 고안되었다. 클래스간 산란행렬을 S_B , 클래스내 산란행렬을 S_W 라고 하면 최적 투영 공간은 (식 5)으로 구해진다.

$$W_{opt} = \frac{\max |W^T S_B W|}{\max |W^T S_W W|} = [w_1 w_2 \dots w_p] \quad (5)$$

S_W 의 rank(계수)는 커 봐야 $N-c$ 이다. 여기에서 c 는 훈련 집합 클래스의 수(파일 수)이고, PCA를 사용하여 차원을 줄이는 첫 단계에서 사용된다. 여기에는 많아봐야 $c-1$ 개의 고유벡터가 있으므로, 최대 $c-1$ 개의 Fisherface가 있게 된다. LDA가 데이터세트가 적고 잘 분산된 경우 PCA 보다 우수하다고 알려져 있다.

3.4 SVM(Support Vector Machine)

최근에, SVM 패턴인식 문제를 푸는데 많은 관심을 받고 있다. SVM은 처음에 이진 분류기로 제안된 것이다. SVM은 간격 또는 거리를 최대화하는 하이퍼플레인을 구하여 지원벡터를 계산한다. SVM은 $x_i \in R^n, i = 1, 2, \dots, N$ 인 N 개의 점 집합으로 시작한다. 각 점 y_i 는 두 클래스(-1, 1)중 하나로 표시 된다. 최적 분리 하이퍼플레인은 (식 6)으로 정의되고, $f(x)$ 의 부호는 데이터의 클래스를 결정하게 된다[17].

$$f(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i x_i \cdot x + b \quad (6)$$

IV. Measurement Experiment of Basic Motions of Snowboarding

앞의 단계에서 취득한 스노보딩 기본 동작 데이터세트를 인식 알고리즘에 적용하여 인식정확도 및 실행시간을 구한다.

4.1 Experimental Condition

스노보딩 기본 동작 측정을 위해 사용한 AHRS 하드웨어, 블루투스 및 베이스 보드 스펙을 표 1에 나타내었다.

Table 1. Hardware Specification

Item	Value
Attitude & Heading	• roll: -180 ~ +180 deg • pitch: -90 ~ +90 deg • yaw: -180 ~ +180 deg
Gyroscope	• Measurement range: -2000 ~ +2000 dps
Accelerometer	• Measurement range: -16 ~ +16 g
Magnetometer	• Measurement range: -1200 ~ +1200 uT
Bluetooth	• CSR BC417 • Bluetooth Specification v2.0 + EDR
Base Board	• Arduino UNO

준비된 데이터세트에 PCA, ICA, LDA, SVM의 알고리즘의

인식 차이점을 도출하기 위해, 10명의 사람에서 스노보딩 기본 동작을 10회씩 반복하여 궤적 데이터를 취득하였고 데이터 측정 시간을 2초 이상 길게 한 경우(DATA1)와 2초 이하로 측정 한 경우(DATA2)의 두 가지 데이터 세트를 준비하여 60%는 훈련용으로 40%는 테스트용으로 사용하였다.

4.2 Results of Accuracy and Processing Time

ICA, LDA, SVM, PCA간의 인식 차이점을 도출하기 위해 데이터세트에 대해 인식률을 수행한 결과는 표 2와 같으며 Fig. 11에 나타내었다.

Table 2. The Accuracy of Basic Motion Dataset

Dataset	DATA1 (%)	DATA2 (%)
ICA	37.5	37.5
LDA	93.8	93.8
SVM	100	100
PCA	37.5	37.5

PCA, ICA는 정확도가 떨어지는 반면 LDA는 우수, SVM은 매우 우수한 정확도를 보이고 있다.

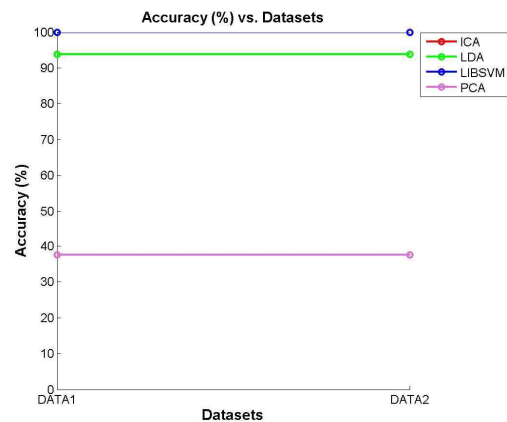


Fig. 11. The Accuracy of Basic Motion Dataset for Snowboarding

훈련시간은 SVM, PCA가 가장 빠르며, ICA가 가장 시간이 많이 걸리는 것을 알 수 있다(Fig. 12).

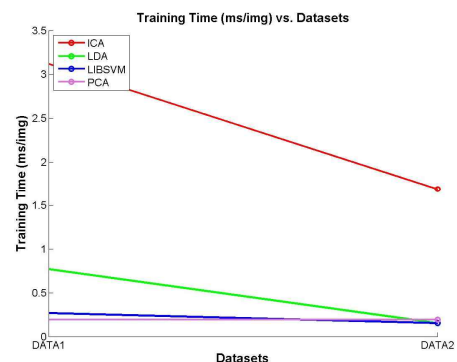


Fig. 12. The Training Time of Basic Motion Dataset for Snowboarding

테스트시간은 SVM이 가장 빠르고 LDA, ICA 순이며 PCA의 경우 처리 시간이 상대적으로 많이 걸리는 것을 알 수 있다 (Fig. 13).

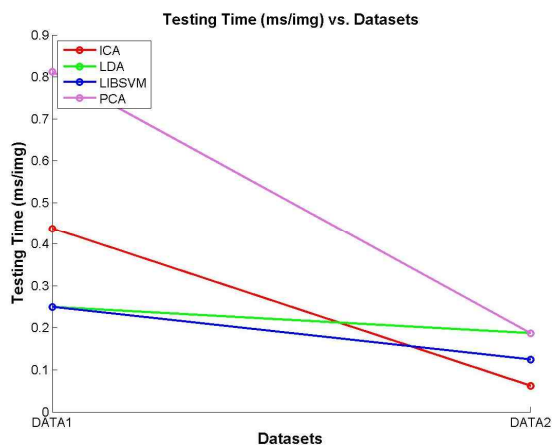


Fig. 13. The Testing Time of Basic Motion Dataset for Snowboarding

인식 결과를 종합하면 LDA는 데이터셋이 적고 잘 분산된 경우에 인식률이 높게 나올 수 있으며 SVM은 이진 분류기형태로 수행되기 때문에 분산에 기반을 두지 않아서 높은 인식률을 나타내었다.

스노보딩을 위한 생체신호 측정을 위해 여러 센서를 추가적으로 사용하지 않더라도 SVM 알고리즘이 스노보딩 기본 동작 인식에 사용이 가능하다는 것을 보여준다.

V. Conclusions

스노보딩에 AHRS센서를 장착하여 스노보딩의 주요 동작인 에어 투 페이키(Air To Fakie), Caballerial, 프리스타일 에 대해 3D 궤적을 측정하고 주요 인식 알고리즘인 PCA, LDA, ICA, SVM을 통해 성능을 도출하였다.

정확도면에서 PCA, ICA는 정확도가 떨어지는 반면 LDA는 우수, SVM은 매우 우수한 결과를 보였다. 훈련시간 역시 SVM, PCA가 가장 빠르며, 테스트시간은 SVM이 가장 빠르고 PCA의 경우 처리 시간이 상대적으로 많이 걸리는 것으로 나타났다.

종합적으로 판단해보면 SVM이 정확도, 훈련시간, 테스트 시간에서 가장 우수하고, LDA도 구현의 용이성이 요구되는 경우, 선 훈련을 거친 다음 테스트하는 경우라면 스노보딩 기본 동작 인식 시스템에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

이 시스템을 통해 스노보딩 강사 부족을 일부 해소하고 올바른 강습으로 인한 잘못된 습관 및 신체 부상, 피로 등을 문제점을 완화시킬 수 있으며, 스노보드의 하프파이브, 슬로프

스타일, 빅에어와 같은 프리스타일 종목의 심사에 있어서도 관정관의 주관적인 심사에 보조적인 장치로 사용될 수 있다.

향후연구로, 스노보딩 기본 동작을 연속적으로 인식하고 기록을 관리할 수 있는 안정화된 IoT 시스템 구현이 요구된다.

REFERENCES

- [1] Chan et al., K.M. Chan, D.T. Fong, Y. Hong, P.S. Yung, P.P. Lui, "Orthopaedic sport biomechanics — a new paradigm," Clin. Biomech., pp. S21-S30, 2008.
- [2] K.Kwon, H.Lee, "Recognition of Basic Motions for Figure Skating using AHRS," Journal of the Korea society of computer and information Vol.20 no.3, pp.89-96, 2015
- [3] G.Heo1, "A Study on Particular Abnormal Gait Using Accelerometer and Gyro Sensor," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.29 no.11, pp.1199-1206, 2012.
- [4] Ju-Man Park, "A Study on Smart Phone Real-Time Motion Analysis System using Acceleration and Gyro Sensors," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol.21 no.1, pp.63-65, 2013.
- [5] D.Kim, "A Study on the Wireless Ship Motion Measurement System Using AHRS," Journal of navigation and port research Vol.37 no.6, pp.575-580, 2013
- [6] H.Kang, "A balance maintain system of Stewart platform using AHRS," Journal of Korean Industrial Information Systems Society Vol.18 no.4, pp.37-41, 2013.
- [7] Kawai, S., Otani H., Sakata, T., "Dynamic response of a snowboard due to snowboarder's snowboard control," Proceedings of the 7th Japan International SAMPE Symposium on Information and Innovation in Composites Technology, pp.131-141, 2001
- [8] Subic, A., Clifton, P., Beneyto-Ferre, J., Leflohic, A., Sato Y., Pichon, V., "Investigation of snowboard stiffness and camber characteristics for different riding styles," Sports Engineering, pp.93-101, 2009
- [9] Slabaugh, G., "Computing Euler Angles From a Rotation Matrix," available from http://home.comcast.net/~greg_slabaugh/publications/euler.pdf, 1999.

- [10] K. Manuel, and D. Dapprich. "Gyro stabilized inertial reference system with gimbal lock prevention means," U.S. Patent No. 4,052,654. 4 Oct. 1977.
- [11] S. Ken. "Animating rotation with quaternion curves," ACM SIGGRAPH computer graphics. Vol.19. no.3. ACM, 1985.
- [12] Kalman, Rudolph Emil, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering Vol.82 no.D, pp.35-45, 1960.
- [13] R.Matthew, "Microphone Array Analysis Methods Using Cross-Correlations," Proceedings of 2009 ASME International Mechanical Engineering Congress, Lake Buena Vista, FL, Nov. 2009.
- [14] M. A. Turk and A. P. Pentland, "Face Recognition Using Eigenfaces," in IEEE CVPR, pp. 586-591, 1991.
- [15] M. S. Bartlett, J. R. Movellan, and T. J. Sejnowski, "Face Recognition by Independent Component Analysis," IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 13, pp. 1450-1464, 2002.
- [16] P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, and D. J. Kriegman, "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection," in IEEE TPAMI. Vol. 19, pp. 711-720, 1997.
- [17] B. Heisele, P. Ho, and T. Poggio, "Face Recognition with Support Vector Machines: Global versus Component-Based Approach," in ICCV. Vol. 2 Vancouver, Canada, pp. 688.694, 2001.

Authors



Ki-Hyeon Kwon received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from Kangwon National University, Korea, in 1993, 1995 and 2002, respectively. Dr. Kwon joined the faculty of the Department of Electronics,

Information & Communication Engineering at Kangwon National University, Samcheok, Korea, in 2002. He is currently a Professor in the Department of Electronics, Information & Communication Engineering at Kangwon National University. He is interested in pattern recognition, image processing and embedded software.



Hyung-Bong Lee received the B.S. and M.S. degrees in Computer Science from Seoul National University, Korea, in 1984 and 1986, respectively and Ph.D. in Computer Science from Kangwon National University, Korea, in 2002.

He has been a Professor in the Department of Computer Science & Engineering at Gangneung- Wonju National University, Wonju, Korea. His current research interests include embedded systems, wireless sensor networks, and data mining algorithms.