

물리 모델 분석을 통한 상호 작용형 스키시뮬레이터 동작인식 시스템 개발

진문섭* · 최준호** · 정경렬*

*한국생산기술연구원 웰니스융합연구그룹

The Development of Interactive Ski-Simulation Motion Recognition System by Physics-Based Analysis

Moon-Sub Jin*, Chun-Ho Choi** and Kyung-Ryul Chung*

* Wellness Technology R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

(Received December 3, 2013 ; Revised December 26, 2013 ; Accepted December 27, 2013)

Key Words: Physics Model(물리모델), Sports Simulator(스포츠 시뮬레이터), Regression Analysis(회기분석), Kinect(키넥트), Center of Mass(체중심)

초록: 본 연구에서는 스키 시뮬레이터의 사용자 감응형 제어를 위한 물리모델과 동작인식 시스템의 개발되었으며, 스키 선수의 자세 변화에 따른 스키 슬로프 상에서의 거동과의 부합성 확보를 위하여 실제 현장 실험데이터의 회귀분석을 통해 동작인식 시스템에 사용될 파라미터 및 관계식을 도출하였다. 개발된 물리모델 기반 스키 동작 인식 시뮬레이터는 실시간으로 Kinect 장치를 사용하여 사용자의 관절별 질량을 분석하여, 정확한 체중심을 추정하고, 시뮬레이터 하드웨어에서 적용할 수 있도록 힘, 속도, 가속도에 대한 피드백을 전달하도록 구성되었다. 본 연구결과는 스키시뮬레이터의 인식모듈로 사용되었으며, 물리모델 기반 가상 스포츠 시뮬레이터 제작에 응용 할 수 있는 자료로 활용될 것이다.

Abstract: In this research, we have developed a ski-simulation system based on a physics-based simulation model using Newton's second law of motion. Key parameters of the model, which estimates skier's trajectory, speed and acceleration change due to skier's control on ski plate and posture changes, were derived from a field test study performed on real ski slope. Skier's posture and motion were measured by motion capture system composed of 13 high speed IR camera, and skier's control and pressure distribution on ski plate were measured by acceleration and pressure sensors attached on ski plate and ski boots. Developed ski-simulation model analyzes user's full body and center of mass using a depth camera(Microsoft Kinect) device in real time and provides feedback about force, velocity and acceleration for user. As a result, through the development of interactive ski-simulation motion recognition system, we accumulated experience and skills based on physics models for development of sports simulator.

1. 서 론

근래 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 발달로 인해 사용자에게 뛰어난 가상현실을 제공하는 시뮬레이션 프로그램이나 가상 환경이 많이 선보이고 있으며, 특히 과거와 달리 물리엔진과 인공지능 엔진 및 그래픽 엔진 등을 결합한 체감형 시뮬레이션 시스템이 개발되고 있다. 이러한 시스템을 이용하여 실생활에서는 경험해 볼 수 없는 것을 가상공간을 통해 구성하는 것이 가능해졌고, 그로 인해 가상공간에서의 경험에 대해 매력을 느끼고 즐기는 사용자들이 점점 증가하는 추세이다. 그러나 시뮬레이션이나 가상 환경의 사용자 기반 시스템 조작인터페이스는 익숙하지 않은 유저에게는 여전히 높은 진입장벽을 가지고 있다. 이런 문제점으로, 키보드나 마우스 등의 복잡하고 간접적인 제어 장치에서 몸동작과 손동

† Corresponding Author, cchoi@kitech.re.kr

작 등의 단순하면서도 직관적인 제어 방법으로서의 연구가 점차 증가하는 추세이다⁽¹⁾⁽²⁾. 이는 일반 사용자에게 현실감과 몰입감을 주어 편리함과 흥미를 줄 수 있으며 직관적인 제어기기 사용법으로 좀 더 쉽게 장치를 제어할 수 있게 한다. 키넥트는 컨트롤러 없이 이용자의 신체를 이용하여 게임과 엔터테인먼트를 경험할 수 있는 깊이 센서로, 사용하기 매우 쉽고 새로운 사용자 인터페이스를 제공 한다⁽³⁾. 최근 키넥트 열풍 속에 다양한 방면으로의 활용이 각광받고 있다. 따라서 본 논문에서는 키넥트를 이용하여, 물리모형을 적용하고, 이로 인해 사용자가 직접 컨트롤할 수 있는 상호 작용형 스키 시뮬레이션 모션 인식 시스템을 제안한다.

상호 작용형 스키 시뮬레이션 모션 인식 시스템은 사용자에게 실감을 느끼게 하기 위해, 본 논문에서는 인체 물리모형을 연구하고 이를 적용하였다. 스키 운동 시, 속도에 영향을 미치는 요인은 환경적인 요인과 사용자의 동작에 따른 요인이 있다. 동적 저항력에 해당하는 운동 힘과 정지 힘은 스키의 속도, 접촉면, 온도, 눈의 상태 등에 따라서 결정된다. 대부분의 연구들이 위의 파라미터들을 측정하고, 실험하여 근사치를 얻는 방향⁽⁵⁾으로 진행 되고 있다. 휴머노이드 로봇에 스키 관련된 모션이나, 힘에 영향을 주는 파라미터들을 적용하여 실험⁽⁷⁾을 하기 때문에, 실제 상호 작용형 시뮬레이터에는 직접 적용이 힘들다. 또한 위의 이론적인 환경요소들은 스키에서는 실제 사람의 모션에 대한 영향이 절대적이고, 환경에 대한 영향은 시뮬레이터에서는 극히 미미하다는 점에서 사용자 기반 스키 시뮬레이터에 적용하는 것은 쉽지 않다. 스키 운동 시 가장 중요한 요소는 체중심(COM; Center of Mass)의 변화이다⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾. COM의 변화로 인해 스키가 활강하거나, Turn, Jump를 할 수 있게 된다. 그래서 본 논문에서는 스키 운동시 환경적인 요인보다, human 중심의 물리모형에 대해서 연구하고, 특히 COM에 따른 속도 변화 모델을 Kinect를 이용한 상호 작용형 스키 시뮬레이션 동작 인식 시스템에 적용한다.

2. 상호작용형 스키 시뮬레이션 동작 인식 시스템

2.1 스키 동작 물리모형 설계

본 연구는 스키 동작을 분석하기 위해서 가상의 2D모형을 설계하였다. 2D모형에 대한 운동방정식 기본 모형을 수립하고 관련 설계 파라미터를 설정하여 도식화 하였다. 뉴턴의 제2법칙을 이용하여, 동작 및 마찰에 대한 정의를 하였고, drag force는 스키 운동 중 사용되는 에너지 중에서 Aerodynamic drag가 차지하는 비율에 대한 연구⁽⁴⁾를 통해 전체 F 중 F_{drag} 의 비율을 15%라고 가정하였다.

2.2 사용자 인체모델에서의 COM 계산

COM은 가상 시뮬레이터에서 단순히 Control의 역할 뿐만 아니라, 시각적 피드백, 물리모형을 사용자에게 전달하기 위해 가장 핵심이 되는 요소이다. 따라서 kinect를 이용하여 COM을 제대로 추정하는 것

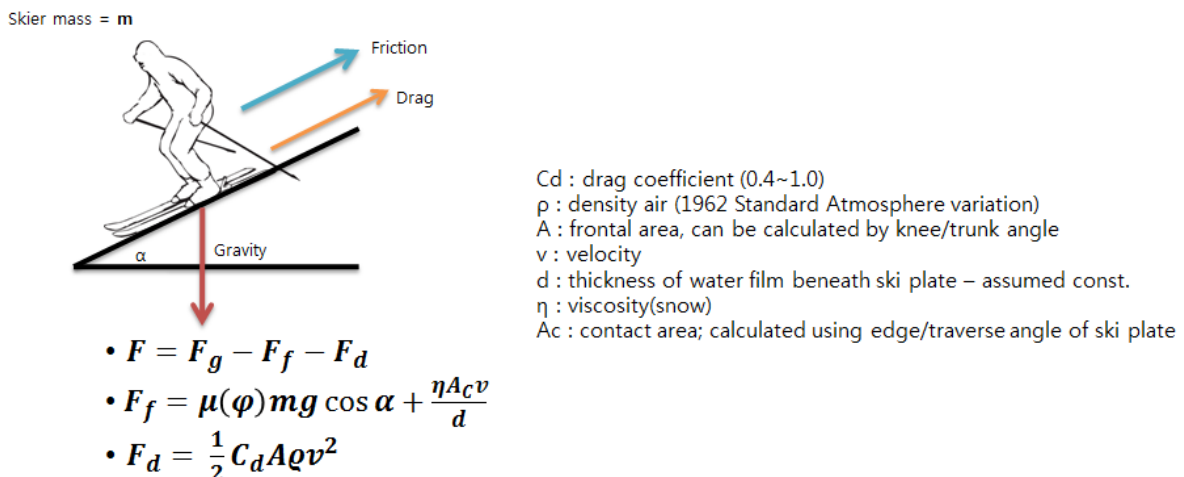


Fig. 1 스키어의 거동의 2차원 동작 물리모형

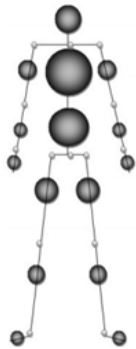


Fig. 2 인체분절계수

Table 1 Anthropomorphic Data of Body Segments

Body Segment	Proximal Endpoint	COM location from Proximal Endpoint
Foot	Ankle center	0.429
Shank	Knee center	0.433
Thigh	Hip center	0.433
Hand&Forearm	Elbow center	0.682
Upper Arm	Shoulder center	0.436
Head&Trunk	Midpoint between hip center	0.54

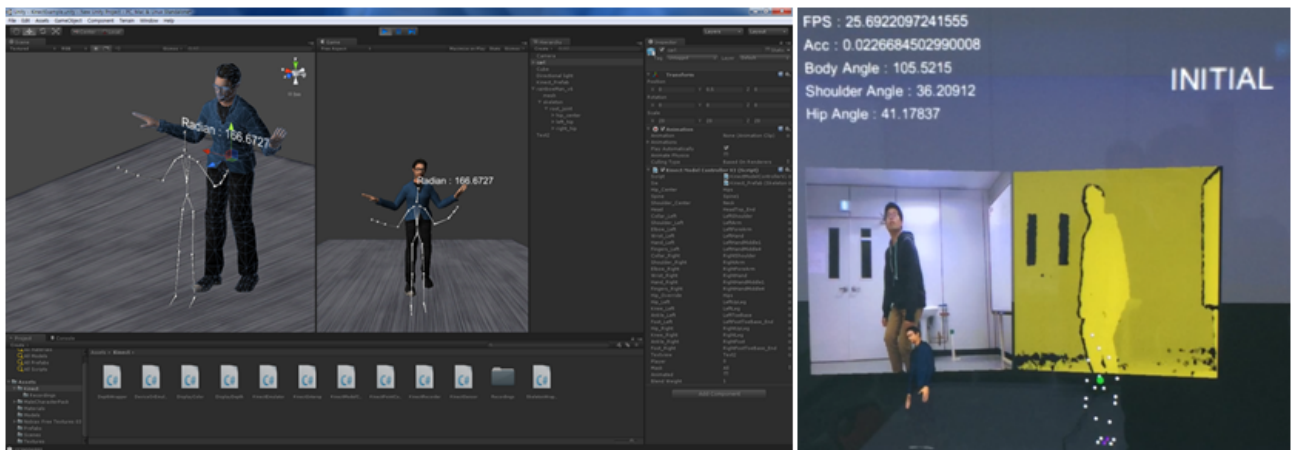


Fig. 3 동작인식시스템 소프트웨어

이 중요하다. 본 연구에서는 정확한 COM의 좌표를 찾기 위해 fractional body mass model⁽⁶⁾을 적용하였다. Fig. 2는 사람의 관절에 따른 질량의 비율을 나타낸 그림이며, 구의 크기가 클수록 전체 사람질량에서 차지하는 비율이 크다는 것을 나타낸다.

사용자 인체모델은 kinect로 입력 받는 사람의 입력 동작 그대로 움직이며, 인체 분절은 20 joints로 구성되어있다. 이 정보를 이용하여, 각 관절별 질량과 좌표를 통하여 실제와 유사한 COM을 추정한다. Table 1에 따라 각 9개의 대표 분절의 중심값에서 전체 비율 대비 가중치를 곱해주는 방식으로 보다 정확한 COM을 계산한다.

2.3 상호작용형 스키 시뮬레이터 동작인식 시스템

본 논문에서 제안하는 동작인식 시스템의 환경은 kinect와 Unity3d를 이용하여 구현하였다. 모바일플랫폼이 확대되면서 각광 받고 있는 그래픽 라이브러리 Unity3d는 kinect와의 연동이 자유롭고, 3D 모델링이나 움직임을 시각화 하는데 편리한 입출력 인터페이스가 제공 된다. 화면은 RGB영상, Depth영상, Skeleton model 뷰, Character model 뷰 4가지로 표현한다. COM과 각 관절의 각도를 이용하여, Body움직임에 따른 가속도를 실시간으로 추정하며 계산주기는 최대 20ms로 제한하였다. Fig. 3은 구현된 동작인식 시스템 Software이다.

3. 물리모델 검증 실험 및 방법

상호 작용형 스키 시뮬레이션 모션 인식 시스템 개발 과정에서, COM을 이용한 속도변화 물리모델 파라미

터 도출을 위한 실험이 진행되었다. 실험대상은 스키경력 2년 이상 강사, 안전요원, 선수 급 남자 4명을 대상으로 하였다. 실험 장소는 해발 1300m 실제 스키장 슬로프에서 진행하였다. 슬로프에 11개의 동작분석 장비와 구간속도계를 설치하고, 실험 대상자에게는 약 30개의 마커와 발 체압 분포 측정기 2대를 착용하여 실험하였다. 스키장 슬로프의 각도는 최대경사 11.19도, 평균경사 6.35도이다. 실험 환경은 Fig. 4와 같다.

위 실험은 실험대상자가 약 10m의 직선 활강 시 COM(체중심)의 변화를 주었을 때, COM변화에 따른 속도변화를 측정하는 실험으로 총 두 가지의 실험으로 구성하였다. 하나는 스키의 양 플레이트 사이 각을 고정된 상태에서의 플루크파렌(직선)제동 및 활강 시 COM을 앞으로 이동 하였을 때 속도변화와 체압 분포를 측정하는 실험이다. 두 번째는 스키의 양 플레이트 사이 각을 고정된 상태에서의 플루크파렌(직선)제동 및 활강 시, COM을 뒤로 이동 하였을 때 속도변화와 체압 분포를 측정하는 실험이다. 각 실험은 동일한 속도조건인 초기 조건을 약 5m/s로 진입하게하고, 실험자들 마다 총 5번씩의 동일 실험을 반복하였다.



Fig. 4 스키 슬로프 현장 실험환경 및 센서시스템 구성

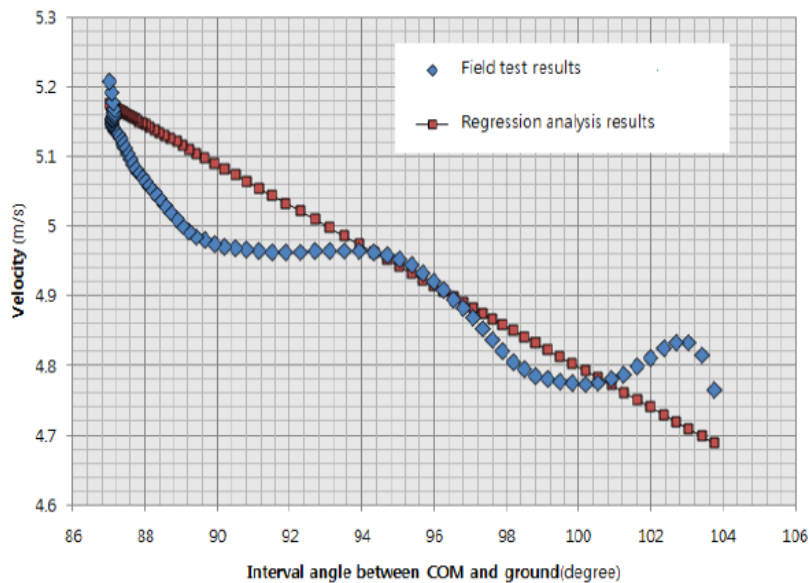


Fig. 5 상체 전경각의 변화에 따른 스키어의 속도 변화

	Value	Standard error
y0	-0.1705	0.01392
A1	4.05313E-15	5.23831E-15
R0	1.22441	0.04691

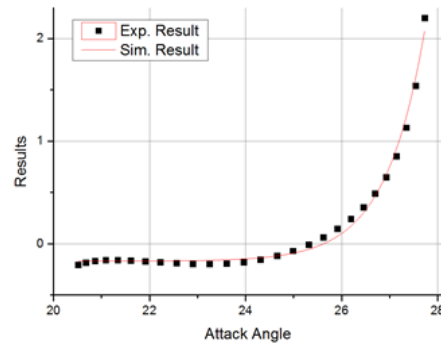


Fig. 6 스키 헤드의 조작 각도에 따른 감속도 추정 결과

4. 결과

COM에 변화에 따른 속도의 변화에 대한 실험결과를 회귀분석을 이용하여 스키 시뮬레이션 시스템에 적용할 2D 물리모델 방정식의 파라미터를 도출하였다. 2D 물리모델은 각 관절마다의 좌표와 무게를 이용하여 COM 좌표를 찾고, 그 COM좌표와 지면 사이의 각도를 이용한 모델을 뜻한다. 기본 활강동작에서 속도 변화의 주요 영향요소가 체중심의 변화(Fore/Alt 운동)에 의하여 결정된다는 가정 하에, 2D 모델에서 체중심의 전후방 변화를 이용한 속도 추정 연구 수행현장 실험 데이터를 활용하여 SPSS 이용, 상체 전경각에 따른 속도 변화 추세를 회귀분석으로 추정한 실험 결과는 다음과 같다.

$$v = -0.0290 \times \Theta + 7.70, \text{ when } \Theta \leq 90$$

$$v = -0.0185 \times \Theta + 7.17, \text{ when } \Theta > 90$$

COM과 속도와의 추정식은 본 시스템에 적용하기 위해 고정 요소인 스키 부스와 종아리 부위를 연결하는 선 대비 전방향과 후방향으로 분리하여 수식을 도출하였다. COM의 중심 좌표와 모션베이스 플랫폼 중심 간의 수직방향에 대한 각도를 이용한다. 추정 수식은 일차방정식 형태로 근사화하여 표현되며, 수식의 신뢰도는 통계분석을 이용하여 검증하였다. 두 개의 수식 모두 결정계수 0.693과 0.680 표준오차 0.106, 0.062로 유의한 결과가 나타났다. 위의 수식을 이용하여, 추가적으로 스키 헤드의 조작 각도(attack angle)에 대해서도 2D 모델의 가속도 관련한 운동방정식을 세울 수 있었다. Attack 각을 운동의 dominant factor로, 앳지 각을 attack 각과 임의의 상관관계에 있는 종속 변수로 가정하여 Nonlinear curved fitting($y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$)을 수행한 결과, 물리모델에 따른 시뮬레이션 결과 치와 실험결과치가 일치하는 결과를 도출하였다.

5. 결론 및 향후 계획

본 연구는 사용자의 COM(체중심) 변화를 이용하여 추정된 물리모델 기반의 수식을 적용한 스키 시뮬레이터 동작인식 시스템을 개발하였다. 개발된 동작인식 시스템은 Kinect를 이용하여 실시간으로 사용자의 전신 바디 모델 및 체중심의 변화를 분석하여, 힘, 속도, 가속도를 계산하여 실제 시뮬레이터 장비에 사용할 수 있도록 하였다. 제안한 시스템은 kinect와 스키슬로프의 위치와 실감을 전달하기 위한 6자유도 이상의 모션 베이스 장치와 가상 그래픽 모델로 구성된다. 스키시뮬레이터를 제어하기 위한 COM(체중심)을 이용한 물리모델 수식은 실제 스키슬로프 실험을 통한 데이터를 분석하여 추정하였다. 추정식은 COM과 그의 변화에 따른 속도변화의 상관관계에 대한 수식이며, 현장실험 데이터를 회귀분석기법을 이용하여 유의한 수식을 얻을 수 있었다. 추정식의 기본 모델은 inverted pendulum을 사용하였다. Kinect에서 얻어진 체중심의 질량과 좌표는 회귀분석을 통해 얻어진 수식에 입력 파라미터로 사용하여, 실제 스키와 동일한 속도를 사용자에게 제시할 수 있도록 하였다.

또한 향후, 실감 있는 스키 시뮬레이션 시스템을 발전시키기 위해서, 직선 활강에 대한 모델뿐만 아니라, 스키 전문 동작인 Carved turn 모델, stop model에 대해 물리 모델링을 적용할 것이다. 추가적으로 사용자에게 실감을 느끼게 할 수 있는 사용자중심의 다른 요인(tactile, wind, vibration)들에 대한 연구를 통하여 추가 적용하여, 새로운 개념의 스포츠 시뮬레이터 인식시스템으로 개선할 것이다.

후 기

본 연구는 문화체육관광부 스포츠산업기술개발사업 “물리모델 기반 실감형 동계 스포츠 훈련/체감 시스템 융합 기술 개발”의 일환으로 수행 되었습니다.

참고문헌

- (1) Wang, R. and Popovic, J., 2009, “Real-Time Hand-Tracking with a Color Glove,” *ACM Trans. Graph.*, Vol. 28, issue 3, No. 63, Aug.
- (2) Kjeldsen, R. and Kender, J., 1996, “Toward the Use of Gesture in Traditional User Interfaces,” *Second IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 151~156, Oct.
- (3) Jeffrey L. Wilson, 2010, “Microsoft Kinect for Xbox360,” *PCMag.com*, Retrieved Nov.
- (4) Kaps, P., Nachbauer, W. and M`ossner, M., 1996, “Determination of Kinetic Friction and Drag Area in Alpine Skiing,” *Ski Trauma and Skiing Safety: 10th Volume*.
- (5) Ge, S. S., Lai, X. C. and Al Mamun, A., 2007, “Sensor-Based Path Planning for Non-Holonomic Mobile Robots Subject to Dynamic Constraints,” *Robot. Autonom. Syst.* 55, pp. 513~526.
- (6) Drillis, R. Contini, R. and Bluestein, M. 2007, “Body Segment Parameters: A Survey of Measurement Techniques. 1964 Subject to Dynamic Constraints,” *Robot. Autonom. Syst.* 55, pp. 513~526.
- (7) Manasrah, A. A., 2012, Human Motion Tracking for Assisting Balance Training and Control of a Humanoid Robot
- (8) Kawai, S., Yamacuchi, K. and Sakada, T., 2004, “Ski Control Model for Parallel Turn Using Multibody System,” *JSME International Journal* **C47(4)**, pp. 1095~1100.
- (9) Kono, K. and Saga, N., 2012, “Development of a Passive Turn Type Skiing Robot with Variable Height Mechanism of Gravitational Center,” *J. Robotics and Mechatronics*, **24(2)**, pp. 372~378.
- (10) Casolo, F., Lorenzi, V., Vallatta, A. and Zappa, B., 1996, “A Composite Model for the Simulation of Skiing Techniques,” *Int. Sym. Biomech. Sports*