

# 실감의 가상 걸음을 위한 발판타입 이동인터페이스의 네비게이션 알고리즘

## (A Navigation Algorithm using a Locomotion Interface with Programmable Foot Platforms for Realistic Virtual Walking)

윤정원<sup>†</sup> 류제하<sup>\*\*</sup>  
(Jungwon Yoon) (Jeha Ryu)

**요약** 본 논문은 2개의 6자유도 제어가능 발판타입 플랫폼으로 이뤄진 이동인터페이스를 이용한 새로운 네비게이션 알고리즘을 제시하고 있다. 제안된 이동인터페이스는 2개의 플랫폼 위에 사람이 위치한 상태에서 사람의 걸음 모션을 센서시스템으로 예측하여 플랫폼 위에서 지속적인 걸음이 가능하도록 플랫폼을 제어하고 사용자 걸음 모션 정보를 가상환경에서의 네비게이션 입력정보로 사용한다. 따라서, 제안된 이동인터페이스는 사용자의 실제 걸음을 유도하고 걸음 동안 사용자에게 실감의 시각 피드백 제공으로 몰입감을 가지고 가상환경과 전신 운동의 상호작용을 할 수 있도록 허락한다. 이때, 가상환경 상에서 자연스런 네비게이션이 가능하도록 보행 분석에 사용되는 걸음 조건들을 사용하여 플랫폼 위에서의 자연스런 걸음 및 가상환경시스템에서의 자연스런 네비게이션이 가능토록 알고리즘을 제시하였다. 제안된 네비게이션 알고리즘 평가를 위해 3차원 객체모델러, 화면 매니저, 통신 매니저로 구성된 가상도시를 구축하여 발판타입 이동인터페이스에 네비게이션 알고리즘을 적용하였다. 실험 결과 평지 및 경사에서 사용자의 자연스런 걸음 및 시각 피드백이 가능함을 알 수 있었고, 제안된 이동인터페이스 및 네비게이션 알고리즘을 통해 다양한 형상의 가상지면에서 실감의 네비게이션이 가능함을 확인하였다.

**키워드** : 가상현실, 이동인터페이스, 걸음, 네비게이션

**Abstract** This paper describes a novel navigation algorithm using a locomotion interface with two 6-DOF programmable foot platforms. When a human walks on the locomotion interface (LI), the walking motions of the human are recognized by several sensors. Then, the sensed information is used by the LI for generation of infinite surfaces for continuous walking and the virtual environments for scene update according to motions of the human walking. The suggested novel navigation system can induce user's real walking and generate realistic visual feedback during navigation. A novel navigation algorithm is suggested to allow natural navigation in virtual environments by utilizing conditions of normal gait analysis. For realistic visual feedback, the virtual environment is designed with three components; 3D object modeler for buildings and terrains, scene manager and communication manager component. From experiments, the subjects were satisfied with the reality of the suggested navigation algorithm using the locomotion interface. Therefore, the suggested navigation system can allow a user to explore into various virtual terrains with real walking and realistic visual feedback.

**Key words** : Virtual Reality, Locomotion Interface, Walking, Navigation

### 1. 서론

컴퓨터에 의해 재생된 세계에 실재하고 있다고 느끼  
제공 하는 가상현실(Virtual reality)기술은 자동차, 비행

기 시뮬레이터 및 유도무기, 탱크등의 군사 훈련용 시뮬레이터, 그 외 수술, 원격조종까지 다양한 분야에 적용되고 있다. 가상현실 시스템에서 인간의 감각 입력을 사용한 인터페이스의 사용은 사용자와 가상환경 사이에 자연스러운 상호작용을 가능케 하여 사용자로 하여금 물리적인 훈련효과 뿐만 아니라 가상환경에 직접 참여함으로 몰입감을 증가시켜 훈련의 효과를 극대화 할 수 있다. 따라서, 인간의 시각, 청각을 포함한 오감뿐만 아

<sup>†</sup> 정 회 원 : 경상대학교 기계항공공학부  
jwyoan@gsnu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 광주과학기술원 기전공학부  
ryu@gist.ac.kr

논문접수 : 2005년 11월 4일  
심사완료 : 2006년 10월 22일

나라 사용자의 직접적인 전신 움직임을 이용한 다양한 인터페이스들이 제시되고 있다[1].

인간의 걸음은 사람이 이동하기 위한 가장 기본적인 방법으로 일상 생활의 많은 부분이 걸음을 통해 이뤄지고 걸음을 통해 공간 감각의 대부분을 인지한다. 이동인터페이스(Locomotion Interface)는 방과 같이 제한된 작은 공간에서 걷기, 달리기등 사람의 이동성을 제한하지 않고 사용자로 하여금 큰 에너지를 사용하도록 하여 가상환경과 상호작용을 시뮬레이션 해 주는 전신 움직임을 이용한 입출력 인터페이스 장치이다[2]. 이러한 인터페이스 장치는 가상환경 내에서 시뮬레이션에 참여하는 사람에게 고성능의 3차원 배치감각을 느끼게 해 주어 좋은 질의 훈련 등이 이루어지게 하는 데 필수적이다. 즉, 사용자를 3차원 가상환경에 몰입시킴으로써 사용자로 하여금 더욱 효과적이고 자연스러운 작업을 가능케 한다. 따라서, 가상환경에서의 이동을 위해서 자동차, 비행기 시뮬레이터에서의 입력 동작보다 에너지 소비량이 큰 실제적인 걸음을 통한 가상환경 내에서의 조작은 사용자의 질 높은 거리 및 방향감의 사용으로 효율적인 네비게이션을 가능하게 한다. 그림 1은 컴퓨터에 의해서 생성된 가상환경에서 이동인터페이스를 이용한 사용자의 네비게이션의 전체적인 시스템 흐름도를 보여주고 있다. 사용자가 이동인터페이스 위에서 걸을 때, 사용자의 걸음 모션은 여러 센서들을 통해서 획득되고, 이동인터페이스는 획득된 센서 정보들을 사용해 제한된 공간에서 사용자의 지속적인 걸음을 허락하기 위해 지면을 생성한다. 또한 획득된 사용자의 걸음동작 정보는 사용자의 모션에 따라서 가상환경으로 전해져 가상환경 정보를 실시간으로 갱신한다. 마지막으로, 사용자는 시각, 청각, 움직임에 의한 정보피드백에 의해 가상환경에 몰입할 수 있게 된다.

이동인터페이스의 종류로는 자전거 형태의 페달 디바이스, 벨트 타입의 트레드밀(treadmill), 슬라이딩 머신(sliding machine), 로봇을 양 발에 위치시키는 발 플랫폼(foot platform)등으로 구분 할 수 있다[2]. 페달 디바

이스의 일종으로 Brogan 외는 TectrixBicycle[3] 이라 불리는 자전거 시뮬레이터를 개발 하였다. 트레드밀 타입으로는 Utah 대학에서 Sarcos TreadPort[4] 라고 불리는 경사(tilt)지면이 가능한 트레드밀을 만들었고 그 외 굴곡지면[5]을 표현할 수 있는 트레드밀도 제시되었다. 슬라이딩 머신타입으로 Iwata 는 일련의 롤러 스케이트 타입[6]을 제시하였다. 발 플랫폼 형태로 Iwata 는 턴 테이블 위에 놓여진 2개의 병진 3자유도 플랫폼에 사용자 발이 위치하게 하고 발에 장착된 센서를 이용해 사용자의 걸음을 인식하여 플랫폼이 계단 같은 굴곡 지면을 재현하도록 한 GaitMaster[7]를 제시하였다. 발 플랫폼의 다른 형태로, Sarcos 사는 계단 디바이스(steping device)를 만들어 가상 전쟁 상황에서 군인들을 훈련시킬 목적으로 “Sarcos Biport[8]”를 제시하였다. 다 자유도 로봇 매니플레이터를 사용한 발 플랫폼 형태는 가상환경에서 필요한 다양한 지면을 제공할 수 있다. 하지만, 현재까지 제시된 발 플랫폼 타입 중에서 “Gait Master”를 제외하고는 사용자의 실제 걸음을 허락하게 한 발 플랫폼은 아직까지 보고 되지 않고 있다. ‘Gait Master’에서는 제한된 작업공간을 가지는 3자유도 발 플랫폼을 사용하여 사용자가 제자리에서 지속적인 걸음을 가능 하도록 사용자 걸음의 상쇄 알고리즘(the principal of cancellation )을 제시하였다. 하지만, 제안된 알고리즘은 사용자가 플랫폼 위에서 정지하고 있을 때의 경우를 고려하고 있지 않아 안정성에 문제가 있을 수 있고 가상환경에 적용 가능하도록 네비게이션에는 적용하지 않았다. 따라서, 다 자유도 운동이 가능한 발 플랫폼을 사용해 안정적이고 지속적인 사용자 걸음을 허락하면서 다양한 지면에서 걸음을 통한 가상환경과의 상호작용을 허락하는 네비게이션 알고리즘을 제시할 필요가 있다. 본 논문에서는 조절 가능한(programmable) 다 자유도의 2개의 발 플랫폼으로 구성되어 다양한 형태의 가상 지면을 생성할 수 있는 이동인터페이스를 이용한 네비게이션 알고리즘을 제시하고자 한다.

## 2. 이동인터페이스

### 2.1 개요

제안된 이동인터페이스장치는 평면운동을 하는 3자유도(X,Y,Yaw) 병렬기구 (3개의 모터와 각 모터에 두 개의 링크로 연결된 플랫폼으로 구성) 형태의 평판과 이 플랫폼 위에 설치된 3개의 병진구동기로 공간 3자유도 운동을 허락하는 발판(상하,피치,롤)이 각 발에 위치하는 전체 12자유도의 구조로 되어 있다(그림 2). 즉, 각 발에 위치한 발판은 전진 및 회전의 6자유도 운동을 재현할 수 있어 다양한 형태의 지면생성이 가능하다. 제안된

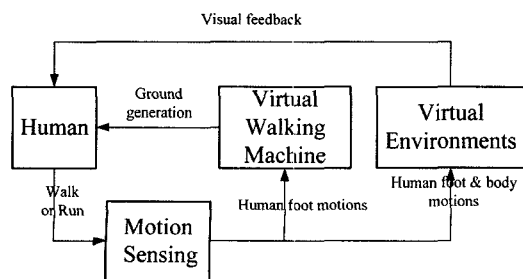
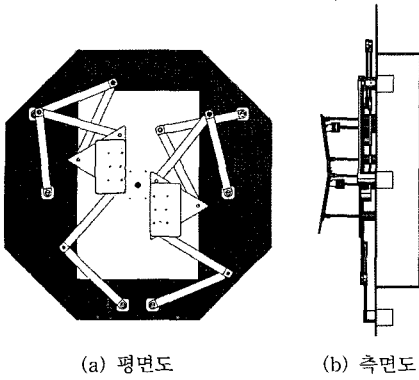
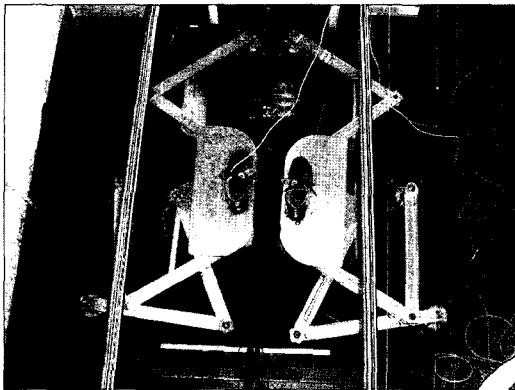


그림 1 이동인터페이스를 사용한 가상환경과의 네비게이션



(a) 평면도 (b) 측면도



(c) 제작된 디바이스

그림 2 제안된 발판타입 이동인터페이스

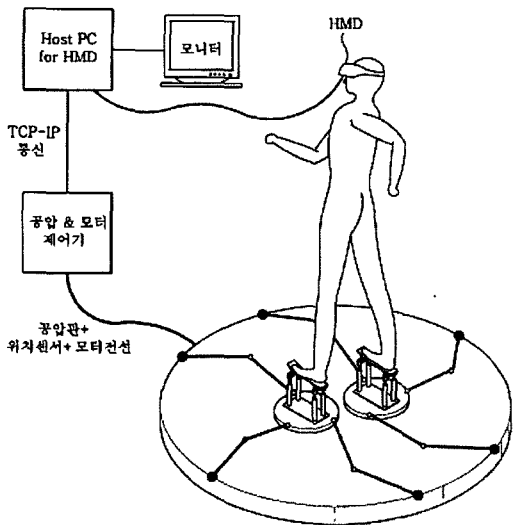


그림 3 이동디바이스를 이용한 가상 환경 시스템 구성도

이동인터페이스의 기계적 구조는 전진 운동을 하는 전

진단계(Swing Phase)와 사람 무게를 지탱해 주는 착지 단계(Stance Phase)의 실제 보행 특성을 고려하였다. 따라서, 전진 단계에서의 평면 병렬 로봇 구조의 평판 및 착지 단계에서의 스튜어트 플랫폼[9] 형태의 발판구조로 분리하여, 각 걸음 단계에서 필요한 성능을 만족하도록 하였다. 특히 지면과 접촉하는 3자유도 평판 플랫폼에 볼 캐스터(ball caster)를 장착하여, 평판에 작용하는 사람무게에 의한 힘 특성을 최소화하여 적은 평판 구동기로 빠르고 강성이 큰 운동이 가능하게 하였다. 그림 3에서는 제안된 이동디바이스를 이용한 가상 환경 시스템 구성도를 보여주고 있다. 사용자는 가상환경이 실시간으로 갱신되는 HMD(Head Mounted Display) 혹은 대형 디스플레이 앞에서 지면에 맞춰서 지속적인 걸음이 가능하다.

2.2 센서시스템

1) 걸음 위치 센서

걸음의 전진단계 동안에 사람 발을 발판을 따라가기 위해서, 사람발의 위치 및 회전각을 Polhemus사의 3차원 자기(magnetic)타입 모션트래커(FASTRACK™)를 사용하여 측정하였다. 자기 타입의 모션트래커는 비교적 값싸고, 사용하기 쉬우며, 시야각의 제한이 없는 장점이 있다. 트래커의 샘플링주기는 25Hz로 선택되었고 걸음 동안에 최대한 정확한 위치 및 회전 측정을 위해 모션트래커를 신발의 발목쪽에 부착하였다(그림 4 참조). 하지만, 사용된 자기타입 모션트래커는 이동인터페이스 플랫폼의 금속성분에 의해서 야기되는 전자기적인 잡음에 영향을 받고, 리시버(Receiver)와 트랜스미터(Transmitter)의 거리가 멀어짐에 따라 측정오차는 더욱 커지는 문제점을 가지고 있다. 또한, FASTRACK™ 사양에서도 제시된 정밀도 및 안정성은 리시버가 트랜스미터와 30cm 이내에 위치할 경우만 보장된다고 명시하고 있다[10]. 따라서, 정밀한 센서정보를 획득하기 위해서 보정(calibration)단계를 통해서 사용된 센서의 위치 및 회전 오차를 감소시켜 정밀도를 향상시켰다.



그림 4 신발에 부착된 자기트래커

보정단계를 구체적으로 설명하면, 우선 측정오차를 보정하기 위해서 작업공간 안에서 트랙커 센서의 실제 위치와 그에 대응하는 센서 위치값을 포함하는 보상테이블을 실험적으로 획득할 필요가 있다. 따라서, 실제 값 및 센서에서 얻어진 위치/회전각 값을 저장하기 위해 리시버를 신발에 부착시킨 상태에서 신발을 플랫폼 위에 올려놓고 플랫폼을 사람이 임의적으로 움직여 트랙커 센서 값을 측정 하였다. 이때 플랫폼의 실제 위치는 모터 회전각의 측정 및 순기구학을 계산하여 수치적으로 획득 할 수 있었다. 따라서, 위 과정으로 구한 센서의 실제 값과 측정값을 이용하여 보상테이블을 작성하여 공간왜곡함수(Field Distortion Function) [11] 를 오프라인(off-line)상으로 계산 하였다. 마지막으로, 구해진 에러 함수 및 실시간으로 획득된 센서 값을 이용해 측정된 센서위치에 따른 위치에러 값을 계산하고 측정된 센서 값에서 에러 값을 빼는 과정을 통해 센서 값을 실시간으로 보정하였다. 600개의 측정 데이터의 보정을 통한 오차 감소율을 통해 정밀도는 3-4배 이상 증가하였고, 보정 후에 x, y, yaw축의 최대 오차 값은 각각 10mm, 6mm, 3°였다. 실험 값에서 최대 1cm까지의 센서 오차가 발생하였지만 이 오차는 발에 비해 비교적인 이동 플랫폼 (25cm×50cm)의 사용으로 사람 발의 추적에 큰 문제가 되지 않았다.

2) 스위치 센서에 의한 걸음 상태 감지

사람의 걸음은 발이 땅에 접지하고 있는 착지단계(Stance phase)와 발이 땅에 닿지 않고 앞으로 전진하는 전진단계(Swing phase)로 나뉜다. 이때 착지단계에서 전진단계로의 전환은 아주 짧은 기간동안에 발생하고 걸음 상태를 정확히 측정해야 사용자가 발 플랫폼 위에서 안전하고 자연스런 걸음을 하도록 발 플랫폼의 제어를 수행할 수 있다. 모션 트랙커를 사용하여 걸음 상태를 측정할 경우 센서 오차 및 시간지연에 의해 정확한 상태 전환 감지가 어렵고, 스트레인 게이지 타입의 힘 센서를 사용할 경우 사람의 무게에 따라 상태전

환에 필요한 문턱치(threshold)가 달라져서 측정에 어려움을 겪는다. 따라서, 마이크로 스위치 타입의 걸음 상태감지 센서를 개발하였다. 마이크로 스위치 센서는 미세한 힘의 작용에 의해 on/off의 두 신호만을 출력하기 때문에 사용자의 무게에 상관없이 정확하고 강건한 걸음 상태의 감지를 보장할 수 있다. 사용된 마이크로 스위치 타입 (Honeywell Corp., SZM-Z15- G16)은 분당 240번의 기계적인 반복을 허락하고 작은 힘(약1N)에서도 반응하기 때문에 걸음감지 센서로 적합하다.

스위치 센서는 그림 5에 보여진 것 같이 플랫폼에 설치되었다. 센서의 몸체는 플랫폼 아래에 부착되었고 스위치 돌출부와 얇은 철판은 플랫폼 위쪽에 놓여졌고, 철판은 사용자의 발이 철판 위에 착지할 때 스위치 센서의 돌출부를 누르도록 배치되었다. 350mm\*250mm\*2mm 크기의 철판은 발이 철판의 어떤 위치에 착지하더라도 스위치 센서를 구동하도록 곡면 형태로 제작되었고, 철판과 센서 돌출부사이에는 스프링이 발의 착지 후에 철판과 스위치의 일정한 간격을 유지하도록 설치되었다. 스프링 상수는 철판을 지지하기에는 충분하지만 사람이 최소한도로 적게 스프링력을 감지하도록 선택되었다. 5V와 0V가 스위치 센서의 NO, NC 터미널에 각각 공급되고, Com 터미널이 DI (Digital Input) 모듈에 연결되었다. 발이 철판과 접촉하면, 센서의 돌출부는 NC터미널을 NO터미널에 연결하고 COM터미널이 0V에서 5V로 변환된다. 따라서 제한된 스위치 센서는 간단한 구조로 걸음상태를 비교적 강건하게 측정할 수 있다.

3. 걸음 제어 알고리즘

이동인터페이스 시스템은 사용자로 하여금 부드럽고 지속적으로 제한된 공간에서 걸을 수 있도록 해야 한다. 따라서, 걸음 제어 알고리즘은 걸음동안에 사용자의 위치가 항상 중앙에 있도록 설계되어야 한다. 일반

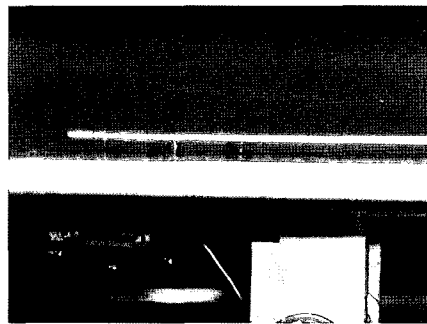
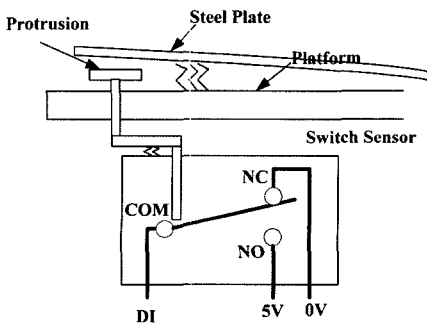


그림 5 마이크로 스위치센서에 의한 걸음상태 감지

트레밀의 경우는 걸음속도에 비례해서 벨트를 뒤로 구동 시키면 되지만, 발판 타입의 디바이스는 자연스럽게 지속적인 걸음을 수행하기 위해서 보다 복잡한 알고리즘이 필요하게 된다. 이 장에서는 발판타입의 이동인터페이스에 대한 걸음 제어 알고리즘에 대해서 설명한다.

**3.1 걸음 상쇄법(Cancellation Method)**

이동인터페이스에서 지속적인 걸음을 위해서. 사용자는 항상 인터페이스 디바이스의 중심에 위치할 필요가 있다. 이에, 보행분석에서 사용되는 조건들을 이용하여 자연스런 걸음 상쇄법의 제시가 필요하다. 정상보행사이클에서 착지단계는 대략 60%, 전진단계는 대략 40%의 비율로 이뤄져 있다. 이때, 두 발이 땅에 접촉하고 있는 기간인 두발 착지단계(double support phase)가 존재한다는 것을 유념해야 한다. 이 기간동안에 몸의 무게 중심은 가장 낮은 위치에 있게 되고, 착지단계의 시작 10%와 마지막10%에서 발생한다. 하지만 발판타입 이동 인터페이스인 'Gait Mater'[7]의 경우 위 두발 착지단계를 고려하지 않았다(그림 6 참조). 따라서, 보행 동안에 존재하는 두발 착지단계를 고려한 새로운 걸음 상쇄법을 제시하고자 한다.

새로운 걸음 상쇄법은 발이 자연스럽게 앞으로 전진할 때 각 발판이 신발에 부착된 자기 트래커를 추종하고, 반면에 한 발이 플랫폼과 접촉할 때인 한발 착지단계(single stance phase) 동안에는 뒤로 물러난다. 만일 두발이 동시에 플랫폼과 접촉하고 있다면, 두 플랫폼은 각각 현재의 플랫폼 위치를 유지하게 한다. 전진단계와 착지단계사이의 전이(transition)는 사람 발에 의해서 구동 되는 스위치센서를 통해 감지된다.

그림 7은 제한된 걸음 감쇄법의 블럭다이어그램을

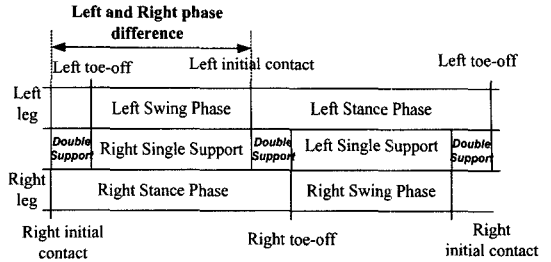


그림 6 두발 착지단계를 포함한 정상보행 사이클[12]

보여주고 있다. 위 알고리즘은 기존의 방법에서 두발 착지단계의 삽입으로 사용자의 의도에 따라 자연스럽게 걸음을 멈추고 시작하는 것을 허락한다. 왜냐하면, 두발 착지단계의 고려로 새로운 걸음 사이클에 대한 초기화 작업이 가능해 사용자 의도에 맞추어 걸음의 사이클 시작을 가능하게 하기 때문이다. 따라서, 제한된 알고리즘은 정상 보행분석을 만족하면서 이동인터페이스 위에서 자연스런 걸음을 허락한다.

**3.2 중심 위치 보정 알고리즘**

제한된 걸음 상쇄법은 기본적으로 동일 속도일 때를 가정으로 설계되었다. 따라서 사용자가 걸음 속도를 일정하게 하고 걷는다면 플랫폼은 에러 없이 사용자 발을 추정할 것이다. 하지만, 사용자가 걸음 속도를 증가시킨다면 감소시킨다면 한발 착지단계 동안 그 전 전진단계 동안의 평균 속도로 기준 위치로 돌아가기 때문에 사용자발은 감 가속 분 만큼 더 이동이 일어나게 된다. 따라서, 걸음의 가감 속은 이전 전진단계의 평균속도만을 이용할 경우 대응 하지 못하게 된다. 위 문제점을 극복하기 위해서 두발 착지단계 동안의 발판 제어 행동에 대한 알고리즘을 다음과 같이 제시하면

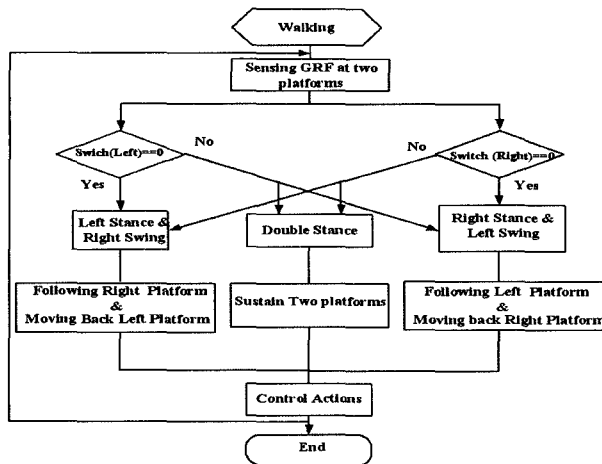


그림 7 정상 보행 분석을 이용한 걸음 상쇄법

두발 착지단계 (Double Limb Support Phase) :

$$\text{If } (X_R^m + X_L^m)/2 > 0 \quad \dot{X}_i^C = -(V_{avg,R}^{sw} + V_{avg,L}^{sw})/2 \times K_{neutral},$$

$$i = (L, R)$$

$$\text{If } (X_R^m + X_L^m)/2 < 0 \quad \dot{X}_i^C = (V_{avg,R}^{sw} + V_{avg,L}^{sw})/2 \times K_{neutral},$$

$$i = (L, R) \quad (1)$$

여기서  $X_i^m$  는 플랫폼의 측정 자세,  $V_{avg,i}^{sw}$  는 오른발 및 왼발 전진단계의 평균 속도,  $\dot{X}_i^C$  는 플랫폼의 제어 입력 값,  $K_{neutral}$  는 플랫폼의 중심위치 속도 계인이다. 식 (1)의 물리적 의미는 두발 착지단계가 시작되었을 때 두 플랫폼의 현재의 평균 위치를 계산하여 두 플랫폼의 전진단계에서의 속도를 평균한 속도제어 입력 값이다. 따라서, 현재 플랫폼들의 위치 평균값이 양수이면 음의 속도 제어 입력 값이 각 플랫폼의 평균 속도에 비례해서 주어 진다. 여기서, 속도 계인 값  $K_{neutral}$  가 커지면 플랫폼의 정확하고 빠른 중심위치의 도달을 유도하지만 사용자가 과도한 몸의 관성력을 느끼게 한다. 반면, 적은 속도계인은 큰 위치 에러 및 적은 관성력을 초래 한다. 따라서, 사용자 평가에 의한 여러 번의 시행착오 (trial and error)를 거쳐 속도 계인  $K_{neutral}$  를 최적으로 선택하였다. 제안된 알고리즘은 중심 위치를 두 플랫폼의 상대 위치를 변화시키지 않고 이동시키기 때문에 사용자가 걸음 속도를 바꾸더라도 플랫폼의 기준위치를 유지 시킬 수 있게 되어, 결과적으로 사용자는 계속해서 그의 의도에 따라 이동 인터페이스 위에서 걸음을 지속 할 수 있게 된다.

#### 4. 발판타입 이동인터페이스에서의 네비게이션

본 장에서는 제안된 발판타입 이동인터페이스를 사용한 가상환경상에서의 네비게이션 시스템을 구현하기 위해 가상도시의 구현 및 발판타입 이동인터페이스의 네비게이션 알고리즘을 제시하고 있다. 가상도시의 구축으로, 사용자의 이동인터페이스를 통한 실제 걸음을 통해 가상환경과 지속적이고 다양한 가상지면에서의 상호작용을 가능하게 하였다. 또한, 3장에서 구현된 걸음제어 알고리즘을 적용하여 제안된 디바이스위에서 지속적인 걸음을 걸으면서, 사용자의 걸음 정보를 가상환경으로 전달하여 자연스런 상호작용이 이뤄지도록 새로운 네비게이션 알고리즘을 제시하고 사용자 실험을 통해 전체 네비게이션 시스템을 평가하였다.

##### 4.1 가상환경

가상지면은 윈도우 환경의 마이크로소프트 Visual C++ 프로그램에 기반한 OpenGL API(Application Program Interface)를 이용하여 개발 되었고, 가상환경

의 시점(Viewpoint)은 사용자가 프로젝터 타입의 대형 디스플레이 앞에서 가상환경을 보고 실감을 느낄 수 있도록 1인칭으로 선택되었다. 비록 사용자의 HMD 착용은 가상환경에 보다 몰입감을 가지고 참여할 수 있게 하지만, 사용자로 하여금 이동인터페이스 위에서 발생할 수 있는 위험한 상황에 대처하는 것을 방해 할 수 있다. 따라서, 전반적인 시스템 성능 및 이동인터페이스의 안정성을 검증한 후 최종 단계에서는 가상환경에서의 완벽한 몰입감을 위해서 HMD를 착용하게 하는 것이 제안된 실감 네비게이션시스템의 최종 목적이 다.

가상도시로 구성된 가상 환경은 3차원 건물과 지면모델을 위한 3차원 객체모델러, 화면 매니저, 통신 매니저 세가지 구성요소로 이뤄져 있다. 3차원 객체 모델러는 3D CAD 모델과 2차원지도에서 2차원 형상의 폴리곤 돌출(polygon extrusion)을 통해서 가상환경의 기하학적인 모델 함수들을 제공한다. 2차원 맵(map)에서의 geo-feature의 2차원 표현은 2가지 요소  $M^{2D} = (G, P)$  로 주어진다. 이때  $G$ 는 형상의 집합들이고  $P$ 는 기하학 특징들에 관한 비공간 데이터의 집합이다. 가상환경에 대한 객체의 3차원 표현은 4가지 요소  $M_{3D} = (G, P, b, h)$ 로 주어진다. 여기서,  $b$ 는 지면에서의 높이 값이고,  $h$ 는 객체의 높이 값(예를 들어 건물의 높이)이다.  $G$ 와  $P$ 는 2차원에서는 같다. 따라서 3차원 모델러는  $b$ 와  $m$ 을 사용하여 2차원 기하학 형상에서의 돌출로 2차원 맵(map)에서 만들어 질 수 있다. Open GIS Consortium (OGC)[13]의 단순한 형상의 사양에서, 기하학에 관한 WKB(Well-Known Binary) 표현은 끊임 없는 데이터 흐름으로서의 기하형상의 쉬운 표현을 제공한다. 또한 WKB표현은 OGC단순 형상 사양에서 주어진 형상의 정보를 저장하기위해서 사용된다. 그림 8은 가상도시 중에서 평지 및 경사지면을 가지는 화면을 보여주고 있다.

화면 매니저는 이동인터페이스의 요구에 따라서 실시간 렌더링을 위한 화면을 조절한다. 통신 매니저는 이동인터페이스와 가상환경을 RPC(Remote Procedure Call) 프로토콜을 사용해 연결시켜 이동인터페이스 사용자의 상호작용이 가능하도록 하였다. RPC를 위한 IDL(Interface Definition Language) 인터페이스가 이동인터페이스와 가상환경사이에 통신을 위해서 정의되었다. 제안된 RPC인터페이스는 가상환경 내에서의 지면 변경 및 상호작용 함수들을 선택 할 수 있도록 설계되었다.

##### 4.2 가상환경과 이동인터페이스의 상호작용

상호작용을 위한 위치기반(position based) 상호작용법 및 행동기반(action based) 상호작용법의 2가지 형

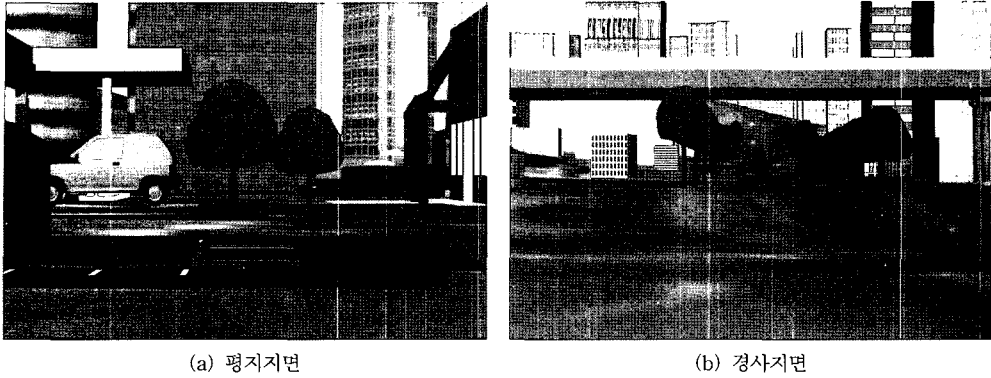


그림 8 가상도시 및 가상지면

태의 RPC제어방법이 있다. 위치 기반 상호작용은 이동 인터페이스의 지역좌표계에서의 위치 변화에 따라서 가상환경에서의 네비게이션을 실행하는 반면, 행동기반 상호작용법은 이동인터페이스의 속도 변화에 따라 현재 가상환경에서의 상대운동을 실행하게 된다. 다양한 지면에 많은 가상환경 요소들이 있기 때문에 행동기반 상호작용법이 위치변화보다는 이동인터페이스에서의 사용자 행동에 따라서 네비게이션을 실행한다는 관점에서 가상환경을 보다 제어하기 쉽다. 따라서, 사용자의 걸음 속도는 네비게이션을 위해서 가상환경으로 직접적으로 연결되고, 가상환경의 업데이트 속도는 자연스런 걸음 행동을 보이기 위해 20Hz로 선택되었다. 이때, 가상환경에서의 사용자의 걸음 속도는 다음과 같이 예측되었다.

**한발 착지단계 (Single Limb Support) :**

$$V_{walking} = V_{avg,i}^{sw} \quad (i = L,R) \quad (2)$$

**두발 착지단계 (Double Limb Support):**

$$V_{walking} = 0 \quad (3)$$

여기서  $V_{walking}$  은 이동인터페이스 위에서의 사용자의 걸음 속도이고,  $V_{avg,i}^{sw}$  는 오른발 및 왼발 전진단계의 평균 속도이다. 사용자 발이 전진단계 동안만 앞으로 전진하기 때문에 걸음의 평균속도는 전진단계 동안의 평균 속도라고 할 수 있다. 따라서, 각 발이 앞으로 전진한 후 플랫폼과 접촉할 때인 착지단계동안 걸음 속도는 업데이트되고, 두발 착지단계 동안에는 두 발이 지면에 접촉해 있으므로 속도는 0으로 세팅 되었다. 따라서, 걸음 사이클의 단계를 분리하여 각 단계에서의 속도 값의 피드백을 달리 해주어 보다 실제적인 시각 피드백이 가능하도록 하였다. 위 알고리즘을 적용하기 위해, 행동기반 상호작용을 위한 RPC인터페이스의 각 함수들을 구현하였고 함수명을 그림 9에 나타난 것과 같이 정의 하였다.

```
// switch various virtual environments such as floor,
// sloop, turning and stairway.
void SetEnvMode (int mode);

// control action-based interaction.
void Forward (float speed);
void Backward (float speed);
void LookLeft (float angle);
void LookRight (float angle);
void LookUp (float angle);
void LookDown (float angle);
void UpStair (float speed, float ratio);
void DownStair (float speed, float ratio);
```

그림 9 이동인터페이스와 가상환경과의 상호작용을 위한 RPC 인터페이스

여기서  $SetEnvMode(mode)$  함수는 평지, 경사, 계단, 회전 등을 포함하는 다양한 지면 중에서 하나를 선택 할 수 있는 환경변수 함수이다. 그 이외, 전 후진 움직임을 위한  $Forward(speed)$ ,  $Backward(speed)$  함수들은 현재의 카메라 위치를 현재 카메라 방향 벡터를 따라 다음 카메라 위치로 이동시키는 역할을 한다. 여기서,  $speed$ 는 샘플링시간 동안 변화된 위치 값을 결정하고 이동인터페이스 위에서의 실제 사람의 속도가 사용된다. 비슷하게 함수  $UpStair(speed)$ ,  $DownStair(speed)$  는 z 방향에 대한 가상환경의 카메라 위치 값을 변화시키고 함수  $LookLeft(angle)$ ,  $LookRight(angle)$ ,  $LookUp(angle)$ ,  $LookDown(angle)$ 는 가상환경에서 사용자의 시각 변화를 반영하기 위해서 카메라의 방향을 변화시키는 함수들이다.

4.3 평가

기본적인 인터페이스 평가를 위해서 5명의 실험실 학생들을 제안된 이동인터페이스에서의 걸음에 참여시켰다.1) 이동인터페이스에서의 걸음 경험이 없는 피실험자들은 제안된 디바이스에서 어떻게 걷는지를 교육 받았다. 제안된 이동인터페이스는 비교적 낮은 속도 제한(최대 1.2m/s)이 있기 때문에, 피실험자가 정상속도로 걸을 것을 확인시켰다. 비록, 피실험자의 숫자가 적을지라도 걸음 인터페이스의 전체적인 성능을 평가하기에는 유용할 것이다. 초기에 대부분의 피실험자들은 이동인터페이스에서의 걸음에 두려움을 나타냈다. 하지만 몇 번의 시도 후에 큰 어려움 없이 잘 걸을 수 있었다. 그림 10은 평지에서의 걸음동안 5명 각각의 항목의 성적(안정성, 현실감, 전체적인 느낌)을 보여준다. 이동인터페이스 위에서의 걸음 후에 각 항목에 점수를 매겼다. 이동인터페이스의 걸음 추종 성능은 피험자의 키와 무게에 영향을 받았고, 키가 180이하인 피험자의 경우 걸음은 이동인터페이스의 작업공간 안에서 자연스런 걸음이 가능하였다. 대부분의 피 실험자들은 실제 사람의 보행분석에 기반한 걸음제어알고리즘에 만족하였고 자연스럽게 걸음을 시작하고 마칠 수 있었다. 하지만 걸음 속도를 급하게 변화시켰을 때 두발 착지단계 동안에 실행되는 중심위치 보정알고리즘 때문에 착지단계 기간동안 몸의 관성력을 느낄 수 있었다는 응답이 많았다. 전반적인 평가에서는 피실험자들은 인터페이스에서의 걸음 및 가상환경의 네비게이션 피드백의 실감에 만족하였다. 피 실험자의 아무도 평가테스트동안 위험한 상황을 겪지는 않았지만, 걸음속도가 증가함에 따라 디바이스의 잡음이 커진다고 지적하였다. 그림 11은 경사지면에서의 인터페이스 위에서의 네비게이션 평가 결과를 보여주고 있다. 상하운동의 첨가 및 평지에 비해서 적은 디바이스의 후진운동으로 네비게이션의 실감도에 보다 좋은 점수를 주었다. 안정성에 있어서도 적은 후진운동 때문에 보다 안정감이 증가함을 보였다.

기초평가 결과로 제안된 발판타입 인터페이스에서의 네비게이션 시스템에 대한 중요한 발견들이 소개되었다. 걸음제어 및 네비게이션 알고리즘은 제안된 인터페이스에서 잘 작동하였고, 평지 경사에서의 걸음 상호작용은 성공적으로 실행되었다. 비록, 속도제한, 잡음, 관성력등이 성능에 제한 사항들로 존재할지라도, 제안된 이동인터페이스의 네비게이션 알고리즘은 안정성을 유지하면서 충분히 좋은 몰입감 및 실제감을 느낄 수 있다는 가능성을 확인 할 수 있었다.

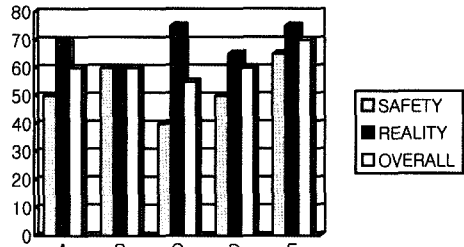


그림 10 평지 네비게이션에서의 평가 결과

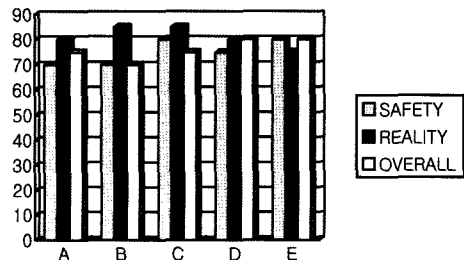


그림 11 경사 네비게이션에서의 평가 결과

5. 결론

본 논문은 다양한 지면에서 사용자의 실제걸음을 유도하고 걸음동안 가상환경으로부터 실제감을 느낄 수 있도록 현실감 있는 시각피드백을 제공하는 새로운 네비게이션 시스템을 제시하고 있다. 현실감 있는 시각피드백을 위해 가상도시를 포함한 가상환경이 모델링되었고, 제안된 네비게이션 알고리즘을 통해 사용자로 하여금 다양한 지면에서 실제적인 걸음을 통한 인터페이스가 가능함을 보였다. 향후 과제로 계단 혹은 자갈길에서의 걸음 등 불규칙 지면을 포함하여 딱딱한 지면, 부드러운 지면, 미끄러운 지면등의 햅틱 효과의 구현으로 보다 다양한 지면환경을 구현할 예정이다. 또한, 제어성능 및 안정성을 증가시킨 후 HMD의 착용을 통한 몰입감의 네비게이션 시스템을 구현할 예정이다.

참고 문헌

[1] 윤정원, 김세환, 류제하, 우운택, "멀티모달 인터페이스(3D 시각과 음성)를 이용한 지능적 가상검객과의 전신 검도게임," 한국정보과학회논문지:컴퓨팅의 실제, 제9권, 4호, pp. 420-430, 2003.

[2] J. M. Hollerbach, "Locomotion interfaces," in: *Handbook of Virtual Environments Technology*, K.M. Stanney, ed., Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2002, pp. 239-254.

[3] D. C. Brogan, R. A. Metoyer, and J. K. Hodgins, "Dynamically simulated characters in virtual environments," *SIGGRAPH Visual Proc.*, p.216, 1997.

1) ftp://203.255.14.156에 네비게이션 실험 동영상 제공



- [4] R.R. Christensen, J. M. Hollerbach, Y. Xu, and S. G. Meek. *Inertial-force feedback for the treadmill locomotion interface*. Presence, 9(1):1-14, February 2000.
- [5] H. Noma, T. sugihra, and T. Miyasato, "Development of ground surface simulator for tele-emerge system," *Proc. of IEEE 2000 Virtual Reality*, p. 217, 2000.
- [6] H. Iwata and T. Fuji, "Virtual perambulator: a novel interface device for locomotion in virtual environments," *Proc. of IEEE 1996 Virtual Reality Annual Int'l Symp.*, pp. 60-65, 1996.
- [7] H. Iwata, H. Yano, and F. Nakaizumi, "Gait Master: a versatile locomotion interface for uneven virtual terrain," *Proc. of IEEE Virtual Reality*, pp. 131-137, 2001.
- [8] [http://www.sarcos.com/interpic\\_virtualinter.html](http://www.sarcos.com/interpic_virtualinter.html)
- [9] J. P. Merlet, *Parallel Robots*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2000, pp. 254-255.
- [10] Polhemus, <http://www.polhemus.com/fastrak.htm>
- [11] V. Kindratenko, "Calibration of electromagnetic tracking devices," *Virtual Reality: Research, Development, and Applications*, 1999, vol. 4, pp. 139-150.
- [12] J. Perry, *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*(Thorofare, N. J. :Slack Inc., 1992).
- [13] Open GIS Consortium, *OpenGIS Simple Feature Specification for OLE/COM*, OpenGIS Implementation Specifications, Revision 1.1, 1999.



류 제 하

1959년 7월 19일생. 1982년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1984년 KAIST 기계공학과(공학석사). 1991년 The University of Iowa, 기계공학과(공학박사) 1992년~1994년 United Defense LP 선임 연구원. 1995년~현재 광주과학기술원 기전공학과 교수. 2001년~2002년 미국 Rutgers University 가상현실 실험실 방문교수. 관심분야는 촉각제시시스템, 촉각렌더링, 촉각방송시스템



윤 정 원

1973년 5월 1일생. 2000년 광주과학기술원 기전공학과(공학석사). 2005년 광주과학기술원 기전공학과(공학박사). 2001년~2002년 The Rutgers University, 방문연구원. 2005년 한국전자통신연구원, 선임 연구원. 2005년~현재 경상대학교 기계항공공학부, 전임강사. 관심분야는 HCI, Rehabilitation Robot, Man Machine Interface