

# 컴퓨터게임과 가상현실을 위한 촉각 응용에 관한 연구

이 영 재<sup>†</sup>

## 요 약

인간의 촉각감지 기능은 주위환경에 대한 중요한 정보를 제공하여 준다. 촉각 정보는 우리의 신체와 외부세계와의 접촉에 따른 위치 정보와 물체를 인지하고 조작하기 위한 감각적 정보 뿐 아니라 위험 여부까지 판단할 수 있는 정보를 제공해 준다. 그러나 촉각은 시각과 청각에 비해 상대적으로 덜 중요한 감각으로 인식되어져 왔으나, 가상현실과 컴퓨터 게임에 있어서는 중요한 역할을 수행할 수 있다. 촉각을 통해 플레이어가 가상 세계의 물체에게 직접 영향을 줄 수도 있고 받을 수도 있는 적극적인 인간 감각이기 때문이다. 본 논문에서는 인간의 촉각의 특성을 조사하고 이를 응용하기 위한 힘 감지 센서를 사용한 연구 방법을 제시한다. 또한 실제적인 게임적용을 위하여 간단한 힘 모델링과 구조체 형식을 제안한다. 그 결과 센서 출력을 분석하여 힘의 분포, 크기, 중심을 구하고 이 정보를 응용하여 특정부위에 대한 작용, 반작용을 구현 할 수 있다. 본 결과는 컴퓨터 게임과 가상현실에서 촉각 감지와 응용을 위한 기본 자료로 활용될 수 있다.

## A Study on Tactile Sensation Application for Computer Game and Virtual Reality

Young Jae Lee<sup>†</sup>

## ABSTRACT

The human sense of touch provides us with an important source of information about our surroundings. Because of its unique position at interface between our bodies and the out world, touch sensing supplies sensory data which helps us manipulate and recognize objects and warn of harmful situation. But tactile sensation was recognized less important than visual sense and auditory sense but it plays an important immersing role in virtual reality and computer game. Tactile sensation can be used to influence to objects according to power and supplied sensory feedback to the player in a virtual environment. This paper investigated the characteristics of tactile sensation of human being and proposed method of study using force sensing sensor, simple force modeling and data structure form for virtual reality and computer game. As a result, force distribution, depth, center point can be calculated using sensor output and this information is very effective to specific position for actions and reactions. This study can used as basic information for tactile sensation and it's application in computer game and virtual realty.

**Key words:** computer game, virtual reality, tactile sensation, force sensing sensor

## 1. 서 론

정보통신기술의 급속한 발달로 짧은 기간 동안에 많은 변화를 경험하고 있다. 필요한 정보를 정확하고 효율적으로 전달하는 정보 전달 방법 뿐 아니라 가상 공간 상에서 인간의 오감요소를 고려한 감성 전달 방

법이 디지털 시대의 또 하나의 테마로써 떠오르고 있다.[1-10]

따라서 인간의 오감에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며 대표적인 예로 인간공학과 심리학을 기반으로 한 감성공학 기술을 들 수 있다. 이는 인간의 감각과 감성의 특성을 객관적으로 파악하여 이를 인간이 사용하는 제품에 적용하고 생활하는 환경을 보다 쾌적하고 안락하게 하여 인간에게 초점을 맞추는

<sup>†</sup> 정희원, 전주대학교 정보기술 컴퓨터 공학부 전임강사

기술개발 방식이다.[1,11]

인간의 감각과 감성의 특성을 파악하려면 그것들을 불러일으키는 물리적 화학적 자극을 제시하고 이에 대한 인간의 반응을 관찰해야 한다. 이 과정에 있어서 가상현실 기술은 인간에게 자극들을 종합적이며 효과적으로 제시할 수 있는 매체가 될 것이며, 이는 컴퓨터 게임에서도 응용될 수 있다. 즉 시각, 청각, 촉각 등을 컴퓨터가 만들어낸 디지털화된 자극으로 대체해 현실세계처럼 느끼게 할 수 있다.[11]

이 같은 기술의 발달로 향후 직장인이나 학생은 가상현실(Virtual Reality) 기술을 이용, 회사나 학교에 가지 않고도 실제 환경과 똑같은 조건에서 근무하거나 수업을 들을 수 있다. 또 주부들도 백화점이나 할인점에 가지 않고도 실제 매장 모습을 보면서 인터넷 쇼핑을 즐길 수 있게 된다. 보는 것만이 아니라 냄새까지 맡아가며 채소나 생선의 신선도를 확인할 수도 있다. 주방에 설치한 대형 모니터를 통해선 요리법 등 다양한 정보를 얻을 수 있을 것이다.[4]

또한 이 같은 기술은 컴퓨터 게임에도 도입되어 인간의 오감을 자극하는 기술로 응용될 수 있다. 눈과 귀 뿐 아니라 신체의 모든 감각기관을 통해 최고의 몰입(Immersion)을 위해 3D 가속 기능을 가진 그래픽 카드, 포스 피드백 조이스틱, 입체음향을 만들어내는 사운드 카드, 고기능 헤드 마운티드 디스플레이(head-mounted display) 뿐 아니라 플레이어가 냄새를 맡고, 맛을 느끼며 공격을 받으면 아픔을 느끼는 등 실제와 똑같은 경험을 게임으로 즐기게 될 수 있다. 게임 입력장치의 미래는 좀 더 섬세하고 다양한 센서의 개발과 관련이 있다. 센서 기술의 발전은 음성이라던가 심장의 맥박수, 땀의 배출, 손가락의 미세한 움직임 등 복합적인 반응을 감지해 게임에 반영시켜 말 그대로 온 몸으로 즐기는 게임을 가능케 해 줄 것이다. 또 좀 더 멀리 내다본다면 플레이어의 심리를 인식해 반응하는 게임까지도 등장할 수 있다.[12] 그러나 이 같은 광범위한 응용에도 불구하고 인간의 감각 응용 분야는 아직은 걸음마 단계이며 인간의 오감 중 촉각, 후각, 미각에 대한 연구는 미진한 편이다.

본 논문에서는 인간의 감각 특성을 알아보고 이중 특히 인간의 피부 감각으로 가장 넓게 퍼져있는 촉각 특성과 이에 해당하는 택타일 센서(tactile sensor)를 사용하여 가상공간과의 효율적이고 자연스러운 상호작용에 대한 연구를 실험을 통해 알아보고자 한다.

2장에서는 가상현실과 인간의 감각, 3장에서는 택타일 센서(tactile sensor) 특성과 접촉면을, 4장에서는 센서를 이용한 실험과 컴퓨터 게임과 가상현실에 대한 고찰을 해보고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 가상현실(Virtual Reality)과 인간의 감각

가상현실과 컴퓨터 게임의 최종 목표는 사용자에게 양질의 현실감을 제공하는 것이다. 가상공간에서 발생하는 이벤트가 현실과 같은 물리적 특성, 사회적 특성을 만족시키고 감각 기관을 통해 느끼는 정보가 경험에 비추어 사실적으로 느껴질 때 사용자는 현실감을 느끼게 된다. 이 같은 가상현실을 구성하는 주요소로는 지각(perception), 몰입(immersion), 상호작용(interaction) 등을 들 수 있다.[1,11] 지각이란 인간 감각기관을 통해 입력되는 신호를 해석하여 외부 세계에 대한 정보를 얻는 일련의 과정이다. 몰입은 양적, 질적으로 우수한 감각정보를 제공받아 인간을 현실세계로부터 차단시키는 것이며, 또한 객체의 형태, 질량, 속도와 같은 기하학적, 물리적 성질간의 상호작용 뿐 아니라 객체간의 의사전달, 관계 규정과 같은 사회적 상호 작용 등이 자연스러울 때 비로소 양질의 가상현실감을 맛볼 수 있다. 이러한 구성요소는 서로 영향을 주고받으며 전체적인 가상현실의 수준을 결정짓는다.[1]

인간은 외부 세계로부터 정보를 청각으로 20%, 촉각으로 15%, 미각으로 3%, 후각으로 2% 받아들이고 나머지 60%의 감각은 시각으로 받아들인다고 한다.[13] 이는 백분율의 정확성을 떠나 시각 기관의 비중이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

시각 분야의 경우 시각의 생리학과 시각체계에 대한 연구가 많이 이루어져 시각 이론의 포괄적인 이해 뿐 아니라 각 분야별 다양한 응용 가능성까지 모색하고 있다. 그러나 시각을 제외한 다른 감각기관의 연구나 응용은 미약한 실정이다.[5]

우리는 다른 사람과의 상호작용을 할 때 모든 감각 기관을 이용한다. 그러나 시각에 치우친 현재 인간-컴퓨터 인터페이스는 감각의 불균형을 초래하고 있다.[6] 따라서 시각정보와 촉각, 후각, 미각, 청각 등의 다양한 정보를 함께 이용함으로써 디지털화로 인한 비접촉 경향을 개선하고 제한된 감각 정보로 인한 감각의 불균형을 탈피하는 것이 필요하다.[5] 이 같은

기술은 가상현실과 컴퓨터 게임과 같은 다양한 분야에서 응용될 수 있다. 감각관련 연구는 주로 장애인을 대상으로 시각, 청각, 촉각 관련 연구가 진행되어 오고 있다. 시각의 경우 벨기에 루뱅대학교에서 만든 시각장애인용 '인공 눈'이다. 이 장치는 특수 안경에 부착된 카메라에서 받은 영상을 전기 신호로 바꿔 시신경을 직접 자극하는 원리로 시각장애인도 사물을 볼 수 있게 만들어 준다. 청각관련 연구는 문자를 읽고, 음성인식을 통해 문자로 바꾸어 주는 TTS(text to speech) 등의 기술을 중심으로 연구되고 있으며 촉각 관련 연구는 가상현실 분야와 컴퓨터 게임 분야에서 햅틱(Haptic) 인터페이스, 텍타일 센싱(tactile sensing), 텍타일 제환(tactile feedback)을 중심으로 연구하고 있다.

## 2.1 촉각

촉각은 좁은 의미로 보면 체성감각 중 피부감각의 하나로 분류될 수 있지만, 일반적으로 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각의 오감의 하나로 촉각을 지칭할 때는 넓은 의미에서 피부를 통해 느끼는 피부감각을 의미한다.[5] 또한 생리학적으로 넓은 의미에서 촉각은 신체를 둘러싸고 있는 체표면과 피하조직에 기원을 가지는 촉압각, 온각, 냉각, 통각을 포함하는 감각을 말한다. 촉압각은 피부의 표면을 가볍게 쓰다듬었을 때 피부를 눌렀을 때 느끼는 감각을 말한다. 네 종류의 감각 중에서 감수성이 가장 높은 감각은 통각이며 온각이 제일 낮다. 통각은 기계적인 자극이나 화학적 자극, 또는 전기적, 열적인 자극에 의해 느껴진다. 촉압각, 온각, 냉각, 통각 등은 피부감각 수용기에 의해서 임펄스로 변환된 후 뇌에 전달되어 정보로써 처리된다.

## 2.2 촉각의 종류와 중요성

촉각은 시각이나 청각과 같이 중요성이 인정되지는 않으나 무의식적으로 인간에 작용하며 인간의 기본적인 욕구에 공헌하는 감각으로 제품의 질을 추정하는 중요한 역할을 한다. 즉, 피부에 느껴지는 촉각은 매끄러움, 결감, 요철감, 두께감, 온도감, 점도, 습도, 경도감, 무게감, 형태감 등으로 인한 쾌, 불쾌감을 결정하는 중요한 역할을 한다. 따라서 컴퓨터 게임과 가상현실 상에서 현실과 유사한 다양한 양질의 촉

각 제공이 그 완성도를 결정짓는 중요한 인자가 된다.[5]

촉각을 종류별로 살펴보면 촉압각은 피부 및 피하조직내의 물리적인 자극을 수용함으로써 의식되는 기계 수용성 감각이다. 촉감각기와 압감각기는 근본적으로 같은 자극에 의해 반응하지만 가벼운 촉자극의 수용에는 마이스너 소체(Meissner corpuscles), 자유신경 종말(free nerve ending), 클라우제 소체(Kraus corpuscles) 등이, 압박 자극 등의 수용에는 메르켈 촉각소체(Merkel receptors), 루피니 소체(Ruffini corpuscles) 등이 관여하며 진동과 같은 자극은 파치니 소체(Pacinian corpuscles)가 관여한다.[14]

### ① 촉, 압각

촉각을 종류별로 살펴보면 촉, 압각은 피부 및 피하조직내의 물리적인 자극을 수용함으로써 의식되는 기계 수용성 감각이다. 촉감각기와 압감각기는 근본적으로 같은 자극에 의해 반응한다. 가벼운 촉자극의 수용에는 마이스너 소체(Meissner corpuscles), 자유신경 종말(free nerve ending), 클라우제 소체(Kraus corpuscles) 등이, 압박 자극 등의 수용에는 메르켈 촉각소체(Merkel receptors), 루피니 소체(Ruffini corpuscles) 등이 관여한다.[5]

### ② 온각, 냉각

온각은 피부에 가해지는 온도자극을 기원으로 하는 감각으로 온도 수용기는 피하조직에 위치해 자극을 수용한다. 피부 온도 감각에 대해서는 루피니소체가 온각을, 클라우제 소체가 냉각을 감지한다. 온도차를 느끼는 온점이나 냉점의 수는 압점이나 통점에 비해 적다. 수용기 밀도와 온각의 감도는 서로 관련이 많으며 온각의 세기는 전액부, 흉부, 복부, 앞팔, 대퇴, 소퇴의 순으로 점점 약해진다.[5]

### ③ 통각

통각은 위험한 상황에서 몸을 보호하거나 상처나 질병으로 인한 안정의 필요성을 알리는 경고신호이다. 통감각기는 지각 신경의 자유종말로 신경 말단 조직세포들 뿐만 아니라 촉각, 온도감각, 근각감각기에도 뻗어 있어 온각, 냉각, 촉각, 압각 등의 자극이 심해지면 모두 통각이 된다.

표1에서 보면 진동을 느끼는 파치니 소체는 높은

주파수에 대응하는 감각이며 이와 반대로 루피니 소체는 낮은 주파수에 응답하는 것을 알 수 있다. 표2는 종말세포의 온도특성을 나타낸 것이며 그림 1은 지문피부(fingerprint skin)의 구조를 나타낸 것이다.[14]

### 2.3 촉각의 특성

촉각을 베버의 법칙에 따른 예민도(K)로 살펴보면 시각 K = 1/100, 촉각 K= 1/200, 청각 K= 1/7, 미각 = 1/6로 시각, 청각, 미각에 비하여 촉각은 변화에 가장 민감한 특성을 가지고 있다. 그러나 촉각은 시각, 청각과 달리 손과 같이 피부가 닿는 범위 영역 내에서만 감각인지가 가능하므로 제한적 인지 감각이다. 또한 영상과 소리의 경우 정보로서 분석하고 재현하는 것이 가능하고, 온도, 무게의 경우 수치화가 쉬우나 감촉, 질감과 같은 촉각 정보는 공학적으로 분석하고

표 1. 피부 신경 종말 세포에서 느끼는 자극 내용과 범위에 따른 특성

Nerve Ending	Receptive field(mm)	Vibration response(Hz)	Stimulus
Meissner	3~4	8~64	texture, normal force
Merkel	3~4	2~32	Shape, edge, texture
Pacinian	10	64-400	Vibration
Ruffini	-	1~16	Lateral skin stretch

표 2. 온도에 따른 피부신경 종말 세포특성

Nerve ending	Temperature (°C)	Stimulus
Kraus	18~40	Cold
Ruffini	40	Warm(normal body temp. 37°C)

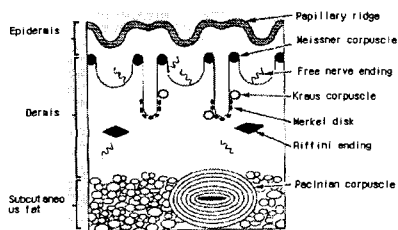


그림 1. 지문 피부의 신경분포 구조

이를 수치화하기 어려운 특징을 가지고 있다. 그러나 변화에 민감한 특성과 가상공간 상에서 객체에 힘을 가하는 것과 같은 적극적인 이벤트에 영향을 줄 수 있는 감각이므로 이를 효과적으로 응용하는 것이 필요하다. 촉각은 하나의 감각으로 정의하기 힘들다. 촉각은 감각기관이 독립적으로 존재하는 시각, 청각, 미각, 후각과는 다르게 감각기관이 몸 전체에 퍼져있다. 촉각의 감각기관은 대부분 피부와 내장기관에 포함되어 있다. 촉각은 특정한 부분에서만 감지하는 것이 아니고 몸의 서로 다른 부분의 촉각과 상호 작용하여 지각된다. 따라서 촉각정보를 생리적으로 느끼는 촉각(cutaneous perception)과 정보처리를 통해 알 수 있는 인지적 정보인 촉감(haptics)으로 구분하고 이를 이용한 효율적인 감각 제환에 대한 연구가 필요하다.

### 3. 택타일 센서(Tactile sensor)

인간의 촉각 역할을 할 수 있는 택타일 센서에는 여러 종류가 있다. 다리오(Dario) 등이 피조(pyzo)와 파이로(pyro) 전기 효과를 사용해 개발한 택타일(Tactile) 센서는 내구성 및 넓은 측정범위, 온도와 압력까지 감지가 가능하나 복잡한 전기효과 분리에 어려움이 있으며, 사토(Sato) 등이 자계를 이용하여 만든 택타일 센서는 직선성과 낮은 히스테리시스 등의 장점을 가지고 있으나 잡음에 민감하며 교류회로가 부가적으로 필요한 단점을 가지고 있다.[14,16]

본 실험에서는 경량, 소형이고 비교적 응용회로가 간단한 택타일 센서인 힘감지 센서(Force sensing sensor)를 사용한다. 이 센서들은 표면에 가한 압력에 따라서 저항값이 감소하는 특성을 가지고 있다.(그림 2 참조) 따라서 이 저항값을 읽어들이므로 촉각과 압각 등을 감지해 낼 수 있다. 또한 이 센서의 구조는 어레이 타입으로 컬럼과 로우의 2차원 배열로 구성되어 있기 때문에 각각 행과 열에 입력값과 출력값을 스캐닝하여 해당되는 택셀(taxel: tactile sensor의 압각이나 촉각을 인지하는 최소단위: 이하 taxel)별 압력 정도를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이 정보를 사용하여 게임이나 가상현실에서 물체에 가한 힘을 구분하여 응용할 수 있으며 플레이어에게 택타일 피드백(tactile feedback)을 구현하기 위한 좋은 정보를 제공할 수 있다.

센서는 그림 2에서 보는 것 같이 압력과 콘택트스

값이 서로 비례하고 그 값의 변화가 비선형특성과 tollerance(내차)값을 가지고 있기 때문에 센서 특성을 고려한 센서회로 설계가 필요하다.

### 3.1 센서에서의 접촉면 인식

센서에 인식되는 표면의 종류는 센서의 구조와 접촉면의 특성에 따라서 점, 평면, 곡면 등으로 구분되며 그들 고유의 접촉면적을 가지게 된다. 그림 3은 택타일 센서에 여러 형상의 대상체로 가압한 경우 반경과 센서의 변위량의 관계를 나타낸 것으로 이를 수식으로 나타내면 식(1)과 같다.[15]

$$\begin{aligned}
 a_{\text{원추형}} &= \sqrt{2} \cdot \pi \cdot x^2 \\
 a_{\text{반구형}} &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot x \\
 a_{\text{막대기형}} &= \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot x
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

( r : 반경, x : 센서 변위 )

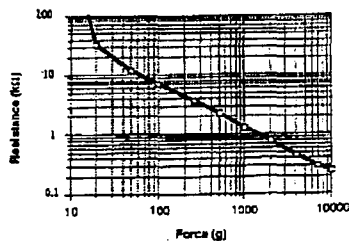


그림 2. 힘감지 센서 전기적 특성 예

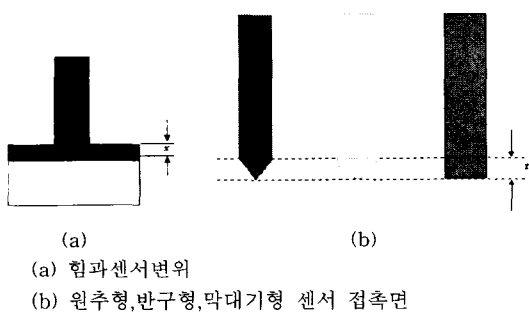


그림 3. 센서 변위와 접촉면

## 4. 실험

### 4.1 시스템 구성

일반적인 가상현실과 컴퓨터 게임 등에서 응용 가능한 시스템은 인간의 감각(Human sensor), 지각

(perception), 인지(cognition), 반응 및 행동 프로세서(motion control), 그리고 신체(Human effector)와 인터페이스를 통해 가상환경과 상호 작용을 한다.[17] 이 같은 개념을 기준으로 본 실험 시스템에서는 가상현실과 게임에서 촉각 응용을 위한 인간(게이머)와 인터페이스 그리고 단방향 가상환경으로 구성하였다.(그림4 시스템 구성 I참조) 즉, 힘 감지 센서 입력을 통하여 가상 환경에 영향을 미치는 정보를 제공해 주고 이에 대한 가상개체들의 작용과 반작용이 가능한 시스템으로 구성하였다.

시스템 구성도 I에 따라 실험에서 인터페이스(interface) 부분은 아레이 타입(22 by 22)의 힘감지 센서를 사용했으며 이 센서의 압력감지 범위는 20g-10000g 이며 저항의 변화는 0.2kΩ- 40kΩ이며 기준 입력 전압으로는 0.5V를 사용한다.

시스템 구성도 II는 그림5와 같다. 컨트롤러에서 기준 입력값을 설정하여 이를 센서에 공급해 기준 입력 전압을 설정한다. 외부에서 가해진 힘에 따라서 저항값이 변하므로 센서 출력도 상대적으로 변화한다. 이 변화량은 행, 열로 구성된 센서 회로를 스캐닝하므로써 알 수 있다. 스캐닝 값은 행, 열 각각 22개이므로 총 484개의 택셀을 스캐닝 한다. 이 택셀 값은 문턱값(V\_threshold) 이상인 것만을 받아들여 출력 값을 확인한다. 안정된 출력과 잡음 제거를 위해 버퍼앰프와 필터회로를 사용한다.

이 출력은 12 bit A/D 컨버터(converter)에 입력되어 디지털 값으로 변환되어 컨트롤러로 입력되고 이

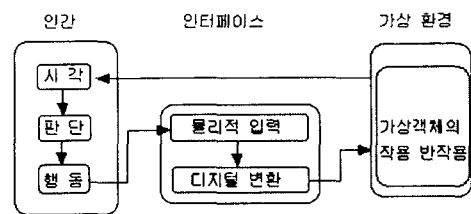


그림 4. 시스템 구성도 I

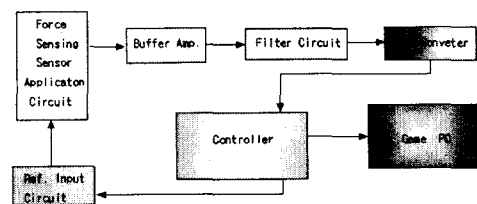


그림 5. 시스템 구성도 II

를 게임 PC에서 사용하기 용이한 값으로 적절하게 변환하여 게임 PC로 공급된다. 이 모든 동작과 절차는 컨트롤러에 의해 제어된다. 게임 PC에서는 이 정보 즉 가해진 힘의 크기 정보와 위치 정보를 이용하여 게임 시나리오에 따른 환경변화의 크기를 알 수 있으며 이에 따른 작용과 반작용과 같은 중요한 이벤트 처리를 리얼하게 구현할 수 있다.

4.2 실험 I

실험I은 축구공에 가압할 수 있는 부분을 3 등분하고 이에 해당하도록 센서도 3등분 한다(그림 5. (a) 참조) 각 부위를 압박하여 가한힘을 감지한다.

그림 6의 (b),(c),(d)는 압각시 감지한 힘분포를 나타낸 것이다. 이 정보를 사용하여 힘의 크기, 힘의 분포, 힘의 방향과 위치를 감지할 수 있다. 그림 6 (b)의 경우를 분석해 보면 센서 출력값( $t_{ij}$ )을 문턱값(threshold)을 사용하여 0,1로 2분화하고 총면적( $m_{00}$ ), 중심값( $i_0, j_0$  식(2),(3) 참조), 1차모우멘트( $m_{10}, m_{01}, m_{11}$ ), 2차 모우멘트( $m_{20}, m_{02}$ ), 최소관성 모우멘트( $\theta_0$  식(4) 참조)를 사용하여 중심점(15.37,4.07) 각도 17.77° (그림 7 참조)를 구할 수 있다.

$$i_0 = \frac{m_{10}}{m_{00}} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} i * t_{ij} \tag{2}$$

$$j_0 = \frac{m_{01}}{m_{00}} \frac{1}{A} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} j * t_{ij} \tag{3}$$

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2(m_{00} * m_{11} - m_{10} * m_{01})}{(m_{00} m_{20} - m_{10}^2) - (m_{00} m_{02} - m_{01}^2)} \right] \tag{4}$$

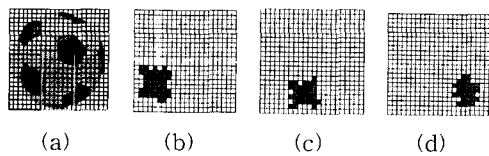


그림 6. 축구공과 tactile 센서 출력 I

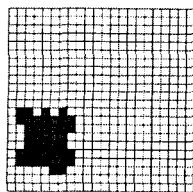


그림 7. 센서출력과 중심점

그림 8은 게임에서 축구공을 찬 경우를 축구공에 가한 힘의 정도를 모델링하기 위하여 센서가 부착된 충돌판과 가압체를 원형물체로 나타낸 것이다. 이 경우 센서가 부착된 충돌판은 고정 되어 있고( $v_{b1}=0$ ), 이 판에 힘이 가해지므로 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다. 충돌판(Pa)과 원형물체(Ca)에 작용한 충격력(impulse force)을 각각 -P와 P라 하면 이 힘에 의한 충격량은  $-\int_{\alpha}^{\beta} P dt, \int_{\alpha}^{\beta} P dt$ 로 나타낼 수 있으며 반발 충격량 -R과, R은  $-\int_{\alpha}^{\beta} R dt, \int_{\alpha}^{\beta} R dt$ 로 나타낼 수 있으며 이들은  $\int_{\alpha}^{\beta} P dt \geq \int_{\alpha}^{\beta} R dt$  조건을 갖는다.

이들은 운동량 보존의 법칙에 따라

$$m_a(v_a)_1 + m_b(v_b)_1 = m_a(v_a)_2 + m_b(v_b)_2 \tag{5}$$

$m_{a,b}$  : 충돌 물체(원형물체, 충돌판)

$v_{a,b}$  : 충돌전후 속도(원형물체, 충돌판)

이들의 반발계수 e는

$$e = \frac{\int_{\alpha}^{\beta} R dt}{\int_{\alpha}^{\beta} P dt} \tag{6}$$

충돌판은 정지하려 있으므로  $(v_b)_1 = 0$ , 반발계수는 거의 완전 소성충돌에 가까우므로 식(5)(6)는 다음과 같이 식 (7)(8)로 정리 할 수 있다.

$$m_a(v_a)_1 = m_a(v_a)_2 + m_b(v_b)_2 \tag{7}$$

$$\int_{\alpha}^{\beta} R dt \approx 0 \tag{8}$$

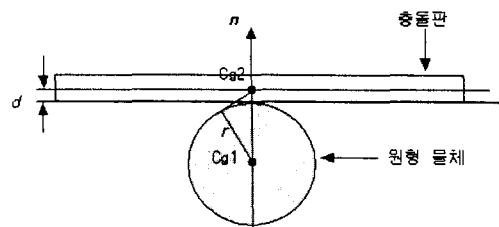


그림 8. 축구공과 충돌판 모델링

Cg1,Cg2: 무게 중심

r : 반경

n : 충돌선(법선벡터)

d : Cg2에서 물체까지 거리

4.3 실험 II

경기에 사용하는 축구공은 둥근 모양의 가죽 또는 승인된 재질로 만들며 둘레는 68cm~70cm, 무게 410g~450g, 공기압력은 0.6~1.1기압이다. 그 구조는 5각형 조각들과 6각형 조각들(12개 5각형, 20개 6각형)로 구성되어 있다. 이 같은 물리적인 특징을 갖는 축구공을 게임에 응용하기 위해서는 적당한 크기의 디자인과 외부 입력장치를 통한 힘의 가압이 필요하다. 특히 축구공을 직사각형 형태로 3등분 실험 I을 고려하여 직사각형 물체에 가압 했을시 힘의 크기를 3차원으로 표시해 본다. 이 경우 가해진 힘의 크기는 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$F_{av} = \frac{\sum_{i=1}^N F_{taxel}}{N} \tag{9}$$

$F_{taxel}$  : taxel 출력, N:접촉 택셀 수

$F_{av}$  : 힘의 평균

또한 가한 힘 최대값( $F_{max}$ ) 최소값( $F_{min}$ ) 만을 고려해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{av2} = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \tag{10}$$

힘 F는

$$F = ma = m \frac{v - v_0}{\Delta t}, \quad F \cdot \Delta t = mv - mv_0$$

초속도  $v_0=0$  이므로

$$v = \frac{F \cdot \Delta t}{m} (\Delta t : \text{발과 볼 접촉 시간})$$

공의 날아간 거리 R은

$$R = \frac{v^2}{g} \sin(2\theta_0) \tag{11}$$

로 나타낼 수 있다. 이 거리에 공기 저항 요소(공기저항을 받는 면적, 공기 밀도 등)를 추가해 실제 이동거리를 구할 수 있으며 이를 게임상에서는 실제 경기장의 크기(최대110m×75m)를 고려해 게임에서의 가상 거리 R'을 개략적으로 구할 수 있다.

그림 9의 그림 (a)의 센서 출력은 문턱값 설정 작업과 필터링 작업등의 전처리 후의 출력이며 그림(b)는 그림(a)의 압력 분포를 나타낸 것이다. 출력 데이터는 현재 각 행렬의 택셀(taxel) 마다 가해진 압력 정보량을 판별할 수 있다. 이 정보를 이용하여 게이머가

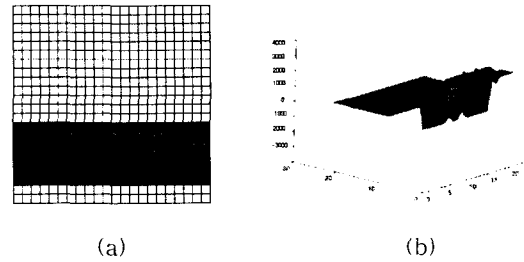


그림 9. 3차원 센서 출력

가상공간 상에서 물체에 가한 힘의 세기를 부위별로 확인 할 수 있고 그 힘에 대한 작용과 반작용을 게임 상에서 구현 할 수 있다. 즉, 이정보를 이용하여 가상 공간상의 상호작용을 위한 유용한 데이터로 응용될 수 있을 뿐 아니라 게이머에게 택타일 포스 피드백(tactile force feedback)을 위한 중요한 데이터로도 사용될 수 있다.[15,16]

4.4 게임에서의 응용

게임에서는 이 같은 힘의 감지 및 반작용의 순간이 너무 짧기 때문에 무시하는 경우가 대부분이다. 그러나 리얼한 게임, 가상현실 게임 뿐 아니라 타격을 하는 순간 아주 느리게 보여주는 경우 등에서는 힘의 크기에 따라서 공이 찌그러지는 모습을 보여줄 필요가 있으며 이를 위하여 물평, 애니메이션 기법 등을 사용할 수 있으며(그림 10 참조) 이들의 이동 거리 역시 실제 물리적인 법칙에 근거한 가상 거리를 계산해 나타냄으로 몰입감과 현실감을 배가 할 수 있다. 특히 액션게임 등에서 일반 공격부위나 필살 부위(머리, 가슴 등의 급소)에 대한 공격력의 정도를 가늠할 수 있으며, 이에 대한 반응을 세분하기 위한 중요한 자료로 사용될 수 있다.

그림 10은 축구공에 힘을 가했을 때 변화하는 공의 모양을 나타낸 것으로 회전이나 이동을 나타내는 경우 이 같은 영상을 적절하게 플립핑 시킴으로 공의 변형모습을 구현해 갈 수 있으며 가상현실이나 게임



그림 10. 힘에 따른 공 모양 변화의 예

등에서 시나리오에 따라서 요구되어지는 정확도에 따라 세분화하여 이용할 수 있다. 이를 구현하는 방법으로 다양한 내용으로 구성된 구조체를 많이 사용한다.

```

축구공 사용 구조체 예)
struct soccer_information
{
int Bstrength : 축구공 운동량
int Bmax_s,Bmin_s; 축구공에 가해질 힘의 최대,
최소 기준값
int BallType,BallPattern,Ballframe; 축구공 타입,
패턴, 프레임 번호
int ball_distance; 축구공 이동거리
double BPox, BPoy; 출력 위치
int BallRex, BallRey; 출력 위치 기억변수
int BX1,BY1,BX2, BY2; 화면 출력위치
int BMx1, BMy1, BMx2, BMy2; 이동위치
int B_Motion, B_Frame; 축구공 모션번호, 프
레이밍 번호
double BaCount, BaSpeed, BaJump, BaFly; 카운
터, 스피드, 점프상태, 공중에 있
는 상태
double BaEnergy; 축구공 에너지
int BAttack, BCrash; 공격, 충돌상태
int BLocation, BMove; 축구공 위치, 움직임,
double BallLevel; 축구공 레벨
BOOL Flip; Flip 상태
int BGravity, BLayer; 중력값,레이어 값
double Bfriction; 마찰력
double Bcenter_force; 힘 중심
double Bforce_x[25], Bforce_y[25]; 힘 분포
double Bf_avg; 힘 평균
};
    
```

이 구조체는 축구공에 힘을 가했을 때 작용과 반작용에 대한 것으로 축구공에 가한 힘, 이동, 움직임, 또한 바닥에 떨어지게 되면서 생길 수 있는 현상에 대하여 포함된 것으로 탄성계수에 대한 값을 중력으로 조절할 수 있는 변수로 구성되어 있다.

5. 결 론

인간의 오감 중 시각, 촉각 등의 특성에 대해 알아

보았다. 특히 가상공간상에서 많은 객체들과 상호작용을 할 수 있는 촉각에 대하여 고찰해 보았다. 촉각의 응용 즉, 촉각 감지와 택타일 궤환(tactile feedback) 등은 가상현실과 컴퓨터 게임 분야에서 완성도를 높이기 위한 필수적인 요소이지만, 시각과 청각 부분에 비하여 연구가 미진한 편이다. 따라서 본 논문에서는 힘감지 센서(Force sensing sensor)를 사용하여 힘을 감지해 보고 이를 축구공에 적용하여 모델링해 보았다. 이는 플레이어와 가상공간사이의 정보 교환과 상호작용을 위한 것으로 택타일 데이터 신호 처리를 구현해 보았다. 아직은 초보단계지만 이 데이터를 응용해 플레이어에게 가상공간상에서 자연스럽게 편리한 상호작용을 위한 기본 정보로 사용할 수 있으며 또한 게임에서 충돌, 공격 및 방어용 무기 등 다양한 이벤트에서의 힘의 감지 및 반작용을 위한 중요한 정보로 사용될 수 있다. 향후 택타일 데이터를 보다 효과적으로 이용하기 위한 각종 알고리즘의 개발과 이를 게이머에게 전달하기 위한 택타일 궤환(tactile feedback)에 대한 연구가 필요하며, 이를 효과적으로 전달하기 위한 인간의 2차원적인 메타 감각(meta-sense)에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[ 1 ] 원광연, 박재희, “감성공학과 가상현실”, 한국정밀공학회지 제 18권 제 2호, pp40-45, 2001. 2.  
 [ 2 ] 원광연, “가상현실의 공학적 특성과 현황”, 전자공학회지 제25권 2호, pp11-16, 1998.  
 [ 3 ] 최한호, “Haptic 인터페이스 현황”,전자공학회지 제 25권 2호, pp24-31, 1998.  
 [ 4 ] 김기홍, “[미래로 가자] 2020년 생활패턴 이렇게 달라진다”, 조선일보, 2002. 03. 04.  
 [ 5 ] 백승화, “시/청각 촉감 인터페이스 디자인에 관한 연구”, 한국과학기술원 석사논문, 2001.  
 [ 6 ] Hantmut Ginnw-Merkert, Byond the Visual, Journal of Design and Design Theory, 1996.  
 [ 7 ] Allison M. Okamura, Jack T. Dennerlein and Robert D. Howe, “Vibration Feedback Models for Virtual Environments”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, ppl-6, 1998, Leuven, Belgium.  
 [ 8 ] Cheng, L., Kazman, R., Robinson, J. Vibrotactile



Feedback in Delicate Virtual Reality Operations, in Proceedings of ACM Multimedia '96, Boston, MA, USA, pp. 243-251, Nov. 18-22, 1996.

[9] Bowman, D. A. and Hodges, L. F.: "User Interface Constraints for Impressive Virtual Environment Applications," Graphics, Visualization and Usability Center Technical Report GIT-GVU-95-26, Georgia Institute of Technology, 1995.

[10] D. Ruspini, K. Kolarov, O. Khatib, "Haptic Interaction in Virtual Environments." Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems: IROS'97, September 1997, Grenoble, France.

[11] 김철중 등 감성공학 기반기술 연구기획보고서, 한국표준 연구원, 1995.

[12] 정구정, 예승철, "창간특집1-미리보는 미래의 게임", Game 조선, 2001. 10. 01.

[13] 양승무, 사용자 인지능력 향상과 제품의 사용성 확대를 위한 직관적 사용자 인터페이스 디자인 개발 및 실용화 방안 연구, 산업 자원부 보고서, p17, 1999.

[14] R. Andrew Russel, Robot tactile sensing, Prentice

Hall Australia, 1990.

[15] Russel, R.A. and Parkinson, S. "Sensing surface shape by touch", Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp423-428, 1993.

[16] Howard R Nicholls, Advanced tactile sensing for robot, World Scientific Series in Robotics and Automated System Vol 5. 1992.

[17] 가상현실과 게임, (재)한국게임 산업원, 'KDCI 연구 보고서 02- 003'.



이 영 재

1984년 2월 충남대학교 전자교  
육공학과 졸업(공학사)  
1994년 8월 연세대학교 전자공  
학과졸업(공학석사)  
2000년 8월 경희대학교 전자공  
학과졸업(공학박사)  
1986년 1월~1995년 12월 LG  
이노텍(주)연구소(신입연구원)  
1996년 3월~2000년 8월 신성대학 전자과 조교수  
2000년 9월~2002년 2월 해천대학 컴퓨터통신계열 조  
교수  
2002년 3월~현재 전주대학교 정보기술 컴퓨터 공학부  
전임강사  
관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴인식, 컴퓨터 게임, 멀티미  
디어