

햅틱 콘텐츠 저작 기술

Authoring Technology of Haptic Content

최승문

Seungmoon Choi

햅틱스 기술은 일반적으로 촉감 혹은 역감을 느끼기 위해서 필요한 인공적인 자극을 만들어서 사용자에게 전달하는 기술을 지칭한다. 다양한 구동장치 및 방식의 발전으로 인해 일반 사용자가 사용할 수 있을 정도의 햅틱장치가 몇몇 존재할 정도로 기술이 대중화되었다. 하지만 일반 사용자가 향유할 수 있는 햅틱 콘텐츠는 아직도 매우 빈약한 것이 사실이다. 이 글에서는 이러한 햅틱 콘텐츠를 손쉽게 만들어 낼 수 있는 저작 기술에 대해 알아 본다. 특히 가장 대중화된 진동 디스플레이를 대상으로한 다양한 저작도구와 자동 저작 기술을 소개한다.

주제어: 햅틱스, 콘텐츠, 진동 디스플레이, 저작

Haptics technology refers to the technology that produces synthetic stimuli that enable the user to perceive tactile or kinesthetic sensations and deliver the stimuli to the user. The rapid progress of diverse haptic actuators and devices has resulted in even mass-produced haptic interfaces for consumers. However, the haptic content that regular users can enjoy is still lacking to a great extent. In this paper, we review authoring technology that facilitates production of haptic content, with emphasis on various authoring tools and automated synthesis systems for popular and versatile vibrotactile displays.

Keywords: Haptics, Content, Vibrotactile display, Authoring

I. 서론

햅틱스(Haptics) 기술은 촉감 혹은 역감을 느끼기 위해서 필요한 인공적인 자극을 만들어서 사용자에게 전달하는 기술을 지칭한다. 다양한 구동기(Actuator) 및 이를 사용한 햅틱장치(Haptic Device)의 발전으로 인해 일반 사용자가 사용할 수 있을 정도의 저가의 햅틱 장치가 몇몇 존재할 정도로 대중화되었다. 특히 직관적이고 사용하기 쉬운 터치 스크린 및 관련 햅틱 피드백(Haptic Feedback) 기술은 다양한 제품의 UI(User Interface)/UX(User Experience)를 향상시키는데 큰 역할을 할 수 있으므로 관련된 여러 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 근래에 들어 모바일기기의 제한된

UI를 향상시키기 위하여 다양한 방식의 햅틱 구동기가 연구되고 있으며 그 결과로 모바일기기를 위한 다양한 햅틱스 응용 기술에 대한 연구 또한 많은 관심을 받고 있다.

이 논문에서 소개되는 연구 결과는 “촉감/역감을 통하여 전달하고자 하는 햅틱 콘텐츠(Haptic Content)를 쉽게 만들 수 있는 방법이 있을까”라는 화두에서 시작되었다. 현재까지 대부분의 햅틱스 연구는 다양한 햅틱 구동기 개발, 이를 사용한 햅틱장치 개발, 이를 사용한 햅틱 렌더링(Haptic Rendering) 알고리즘 개발, 이를 사용한 HCI, 가상 현실 등의 응용사례 개발 등에 집중되어 왔다. 즉 촉감/역감을 생성, 전달할 수 있는 기술에만 집중해 왔을 뿐 그러한 햅틱 디스플레이 기술을 사

용하여 사용자가 직접적으로 향유하게 될 콘텐츠를 어떻게 제작할 것인가에 대한 관심은 거의 없었다. 이 문제점은 햅틱 콘텐츠의 빈곤을 야기하였고 이로 인해 다양한 햅틱장치 및 렌더링 알고리즘이 존재함에도 불구하고 일반 사용자는 햅틱스 기술이 제공할 수 있는 다양한 이점을 향유하지 못하고 있다. 비유하자면 햅틱스를 위한 3ds MAX나 Photoshop 등의 소프트웨어 및 시스템이 절실히 필요한 상태이다.

본 논문은 현재까지 발표된 햅틱 콘텐츠를 쉽게 만들 수 있는 여러 가지 방법 및 시스템에 대해서 소개하는 것을 목적으로 한다. 일반적으로 햅틱 콘텐츠는 사용할 햅틱장치의 종류에 따라서 크게 2가지로 분류할 수 있다. 촉감만을 생성할 수 있는 촉감 디스플레이(Tactile Display)와 역감, 위치감 또한 생성할 수 있는 역감 디스플레이(Kinesthetic Display)가 그것이다. 촉감 디스플레이를 사용하는 경우는 마찰, 질감, 온도 등 우리가 손으로 만질 때 느끼는 다양한 물리적인 감각을 모델링 및 렌더링 할 수 있다. 역감 디스플레이(Kinesthetic Display)를 사용하는 경우 가상 물체의 모양 및 경도 또한 전달할 수 있다. 하지만 역감 디스플레이의 경우 그 모델링 과정이 일반적인 컴퓨터 그래픽스의 모델링 과정과 매우 유사하여 특별한 소프트웨어 및 모델링 도구의 필요성이 상대적으로 매우 낮은 편이다. 그러므로 이 글에서는 촉감 디스플레이, 특히 대표적으로 진동 디스플레이에 대한 모델링 및 콘텐츠 자동 생성 기술에 대한 현재까지의 연구 성과를 정리하고 미래의 중요한 연구 주제에 대해 살펴보고자 한다.

II. 햅틱 콘텐츠 저작 방식

햅틱 콘텐츠를 저작하는 방식은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫번째 방식은 수동 저작(Manual Authoring) 방식이며 이 방식에서는 햅틱 콘텐츠에 대한 풍부한 지식과 경험을 갖춘 디자이너 혹은 개발자가 전문적인 소프트웨어를 사용하여 햅틱 콘텐츠를 창조해 낸다. 일반적인 3D 모델링 프로그램을 사용하여 3D 물체를 모델링하는 방식을 생각하면 이해가 쉬울 것이다. 두번째 방식은 자동 생성(Automatic Generation)이며 일련의 하드웨어와 알고리즘을 사용하여 기존에 존재하는 콘텐츠에서 적절한 햅틱 콘텐츠를 자동으로 생성하는 것을 지칭한다. 사진이나 영상을 합성하여 새로운 콘텐츠를 만들어 내는 것과 유사하다고 할 수 있다.

이 2가지 방식은 그 장단점이 자명하다. 일반적으로 가장 효율적이면서 최적의 콘텐츠를 만드는 방식은 수동 및 자동 저작 방식을 적절하게 혼용하여 사용하는 것이며 실제적인 상용 시스템은 이를 고려해야 할 것이다. 하지만 현재까지 학계에서 진행된 연구는 각각의 방식에 대한 다양한 아이디어를 제시하고 검증하는 수준이며 이를 모두 통합한 상용 수준에 가까운 햅틱 콘텐

츠 시스템은 아직 존재하지 않는다. 다음 장부터 각 방식에 대해 현존하는 연구 결과를 서술한다.

III. 수동 저작 방식

촉감 디스플레이에서 제공되는 촉감신호는 수학적 으로 표현할 경우 음파와 유사하게 시간에 대한 함수의 형태를 가진다. 따라서 초기에는 음파를 디자인하듯이 파형을 직접 설계하여 원하는 촉감신호를 구성하는 방식에 대한 연구가 진행되었다. 예를 들어 Karon MacLean의 연구 그룹에서는 Hapticon Editor[1]와 이의 개선된 형태인 Haptic Icon Prototyper[2]를 개발하였다. 모두 1 자유도를 가지는 햅틱장치를 대상으로 하여 시간에 대한 파형을 디자인하기 위한 직관적이고 사용하기 쉬운 GUI(Graphical User Interface)를 제공하는 형태이었다.

이러한 파형기반의 에디터를 확장하여 저자의 연구실에서는 posVibEditor(POSTECH Vibrotactile Editor)를 개발하였다[3]. 이 에디터는 2가지의 주요한 특징을 가지고 있다. 먼저 여러 개의 진동 구동기를 사용하여 몸의 다른 여러 부분을 동시에 자극하는 다중 진동 구동장치를 지원하기 위하여 시간선(Timeline) 인터페이스를 제공한다. 또한 디자인시 사용자가 느끼기 원하는 진동의 인지적인 강도(Perceived Intensity)를 결정되면 이를 위해 진동 구동기에 가해야 하는 물리적인 전기적 신호를 자동으로 계산해주는 기능을 가지고 있다. 이 기능은 인지적으로 투명한 렌더링(Perceptually Transparent Rendering)이라고 명명되었으며 다수의 진동신호를 사용하는 경우에 사용자의 진동 구분 능력을 크게 향상시킬 수 있다[4],[5]. posVibEditor의 사용자 화면은 그림 1에 제공되어 있다.

현재 휴대폰, 태블릿 등 터치 스크린을 기반으로 하는 휴대용기에 진동 피드백을 제공하기 위해서 대부분의 경우 전술한 바와 같은 파형기반의 에디터가 사용되고 있다. 대표적인 예가 삼성전자에서 상용화했던 햅틱폰 2에 탑재된 나만의 햅틱이라는 기능이다(그림 2 참조). 이 기능을 사용하여 사용자는 원하는 진동 파형을 생성하고 이를 전화벨 등으로 사용할 수 있다. 이 기능은 미국 이머전사(Immersion Corporation)의 기술을 라이선스 받아서 출시한 것이며 이머전사는 그 이후 관련 기술을 계속 발전시켜 현재는 Integrator라는 제품을 출시하고 있다. 이 제품은 안드로이드 기반의 모바일기기에서 다양한 UI 요소에 어울리는 진동 피드백을 OS단에서 자동으로 생성해 주는 기능을 가지고 있으며 이를 위해 파형기반의 에디터와 수백 개의 진동 파형 라이브러리를 제공한다.

하지만 이와 같은 파형기반 진동 저작 방식은 세세한 파형까지 사용자가 결정하여야 한다는 큰 단점이 있다. 이 때문에 길고 복잡한 진동패턴에 대해서는 설계

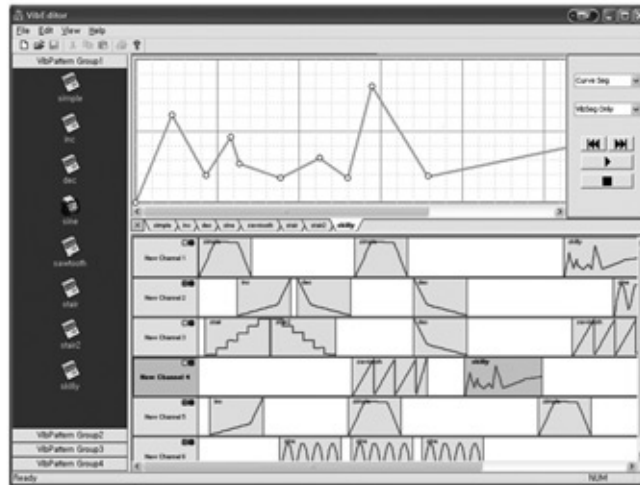


그림 1. posVibEditor의 사용자 화면. 위의 윈도우는 개개 파형의 설계화면을, 아래의 윈도우는 다중 진동 구동기를 사용한 파형 설계를 위한 시간선 인터페이스를 보여 준다.

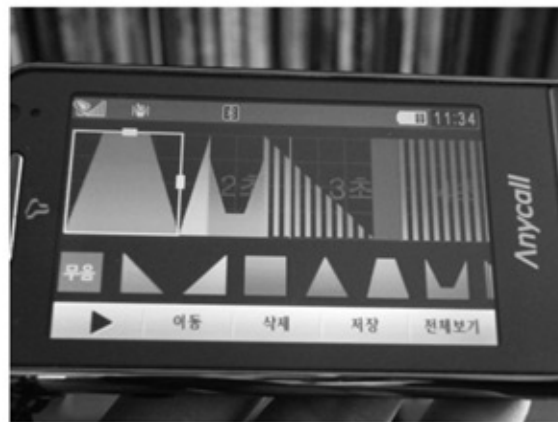


그림 2. 삼성전자 햅틱폰 2의 “나만의 햅틱”

에 많은 노력이 필요하며 시간이 오래 걸린다. 이러한 단점을 해결하기 위해 저자의 연구실에서는 음악을 작곡하기 위해서는 음파의 형태를 하나하나 정의하는 것이 아니라 특정한 형태의 음파를 의미하는 기호(Symbol)를 다수 정의하고 이의 조합을 표현하는 악보를 사용한다는 사실에 주목하였다. 따라서 음악의 악보와 유사한 진동 악보(Vibrotactile Score)라는 개념을 정의하고 악보기호의 집합을 사용하여 다양한 진동패턴을 손쉽게 빠르게 저작하는 방식을 제안하였다(6). 실제 사용성 평가에서 진동 악보 방식은 파형방식에 비해 현저하게 빠르고 정확한 저작 성능을 보여 주었다(7). 진동 악보를 사용하는 에디터의 사용자 화면은 그림 3에 제시되어 있다.

저자의 연구팀에서 근래에 개발한 또 하나의 방식은 시연 기반 저작(Demonstration-based Authoring) 방식이다(8). 이 방식은 키보드와 마우스를 사용하는 일반 컴퓨터 인터페이스에 의존하던 기존 방식을 버리고 터치스크린을 사용한다. 사용자가 악기를 연주하듯이 원하는 진동패턴으로 화면을 터치하면 터치된 순간은 진동이 발생하는 순간으로 터치의 압력은 진동의 크기로 터치된 위치는 진동의 주파수로 변환되어 사용자의 시연에 따라 진동패턴을 자동으로 저작해 준다. 이 방식은 진동 저작이 매우 간단하여 사용자가 배우기 쉽고 또한 긴 패턴을 아주 빠르게 만들 수 있다는 장점이 있다. 이 방식은 iOS5 이상 버전에 포함되어 있는 진동 사용자화 기능에 포함된 진동의 발생 길이만 조절하는 간단한

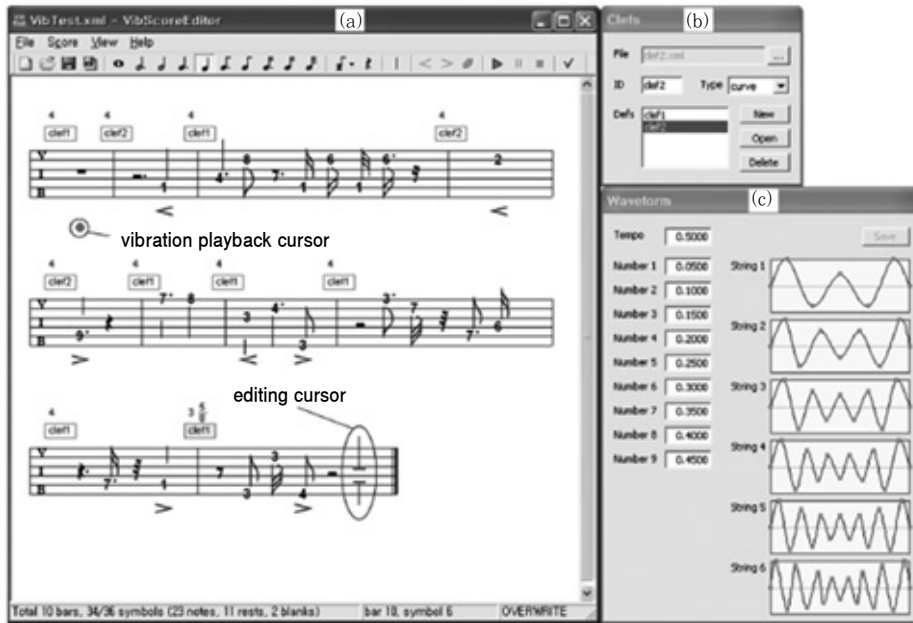


그림 3. 진동 악보의 예. 음표의 모양은 진동의 길이를, 음표가 걸쳐져 있는 수평선의 위치는 주파수를, 음표 머리의 숫자는 진동의 크기를 각각 의미한다.

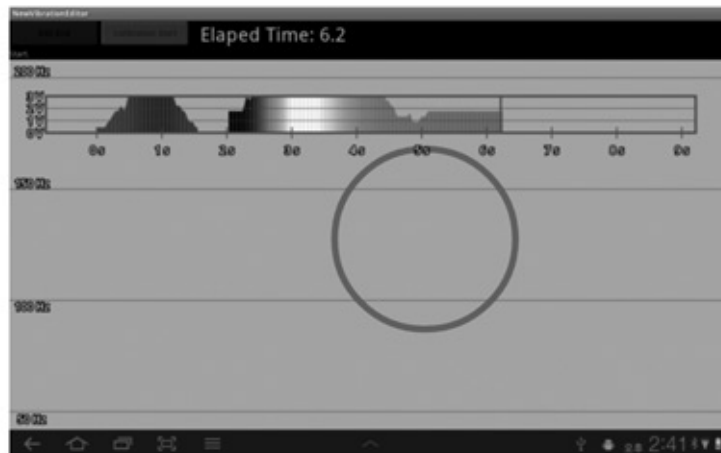


그림 4. 시연기반 저작 방식의 사용자 인터페이스. 중간의 빨간 원은 현재 사용자가 터치한 부분의 위치와 누르고 있는 압력의 크기를 나타낸다. 진동의 주파수는 터치의 수직 위치에 따라 결정된다. 그림 상단의 파형은 현재까지 디자인된 파형을 시간축에 대해 보여준다.

진동 저작 기능을 확장하여 설계되었다(그림 4 참조).
 마지막으로 광주과학기술원에서는 영화와 어울리는 진동 효과를 저작하기 위한 프로그램을 개발하였다(9). 이 저작도구에서는 사용자가 배열 형태의 다수의 진동 구동기가 장착된 장갑 혹은 의자 등을 사용하고 있다고 가정하고 영화를 볼 때 진동 효과를 주면 좋을 만한 장면이 나오면 진동 효과의 적절한 공간적 위치와 시간적 크기의 변화를 영화의 프레임별로 동기화시켜 디자인하

는 있는 기능 및 사용자 인터페이스를 제공한다(그림 5 참조). 이러한 시스템을 사용하면 사용자의 영화에의 몰입도를 향상시켜주는 다양한 햅틱 효과를 손쉽게 저작할 수 있다. 실제로 4D 영화를 제작하는 국내의 회사에서는 내부적으로 개발한 유사한 물리 효과 저작 시스템을 사용하고 있는 것으로 알려져 있다.
 현재까지 개발된 다양한 수동 저작 방식은 각각 장단점을 가지고 있다. 따라서 이런 방식을 다양하게 지원하

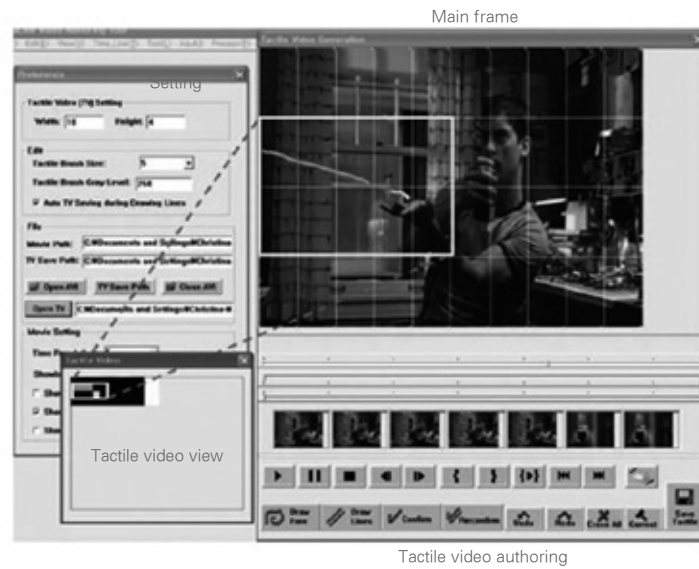


그림 5. 영화에 진동 효과를 삽입하기 위한 저작도구

는 저작 시스템이 필요하며 사용자는 필요에 따라 적절한 저작방식을 선택하여 사용하는 것이 바람직하다.

IV. 자동 저작 방식

자동 저작 방식은 기존의 자료로부터 적절한 촉감 디스플레이 효과를 자동으로 생성하는 방식이다. 본 장에서는 변환되는 자료의 종류에 따라 음원 및 영상으로 나누어서 알고리즘의 종류와 특징을 설명한다.

1. 음원을 사용한 진동 효과 자동 저작

인간이 인지 가능한 주파수 범위나 구분 가능한 인지적 분해능 등에서 청각과 촉각은 큰 차이를 보이나 해당 물리적 신호인 음파와 진동파는 모두 시간에 따라 변화하는 파동의 형태를 띠고 있다. 이러한 유사성에 기반하여 기존의 음원을 사용하여 적절한 진동 효과를 자동으로 생성하여 사용자에게 실시간으로 전달하려는 시도는 이미 7, 8년 전에 시작되었다. 예를 들어 모토로라에서는 MFT(Multi-Function Transducer)라는 소리와 진동을 모두 재생할 수 있는 스피커 형태의 새로운 진동 구동기를 개발하고 저주파수 대역의 음파를 진동을 통해 증폭시켜 전달하여 사용자가 느끼는 비트감을 향상시키고자 하였다[10]. 학계에서도 유사한 연구가 다수 진행되었으며 최근의 대표적 연구로서는 여러 개의 보이스 코일 진동 구동기를 사용하여 사람의 달팽이관 구조와 유사한 형태로 시각장애인에게 음악을 들려주고자한 시도가 있었다[11]. 이러한 연구에 힘입어

소리신호로부터 자동으로 진동을 생성하는 기능을 탑재한 제품도 상당 수 출시되었다. 진동 헤드폰, ViviTouch (Artificial Muscle; USA), Reverb module (Immersion: 최근 삼성 갤럭시 S 시리즈에 탑재) 등이 좋은 예이다.

관련 연구로서 저자의 연구실에서는 음악신호와 잘 어울리는 진동패턴을 자동으로 생성하는 알고리즘을 개발하였다[12]. 기존 알고리즘과의 주요한 차별성으로는 ① 저주파 대역의 비트 정보와 고주파 대역의 중요 악기, 노래 등 2가지 대역의 정보를 모두 추출하며 ② 이를 각각 아주 낮은 주파수의 느낌이 나는 혼합 진동(Superimposed Vibration)과 맑고 부드러운 느낌이 나는 고주파수 대의 진동으로 각각 대응시켜 표현한다. ③ 이를 위해 햅틱 이퀄라이저(Haptic Equalizer)라는 개념을 도입하여 다양한 주파수 밴드별 이득(Gain) 조정이 가능하며 ④ 음악신호로부터 진동신호로 변환시 두 감각 간의 인지적인 크기가 동일 혹은 매우 비슷하도록 체계적인 인지적 변환 과정을 갖추었다는 것을 들 수 있다. 이러한 이중 밴드(Dual-band) 진동 음악 알고리즘의 전반적인 흐름도는 그림 6에 제시되어 있다. 안드로이드 기반으로 구현된 이 알고리즘은 기존의 모바일 기기에서 매우 빠른 실시간 수행이 가능하다.

지금까지 소개한 소리-진동 자동 변환 알고리즘의 공통점은 소리의 물리적인 신호를 신호처리 알고리즘을 사용하여 특정한 형태로 가공하여 진동 구동을 위한 물리적 신호를 만들어낸다는 데 있다. 이 방식의 가장 커다란 문제점은 소리신호에서 어떤 의미(Semantics)나 문맥(Context)을 전혀 파악하려고 하지 않는다는 점이다. 따라서 소리신호가 존재하면 있으면 항상 진동신호

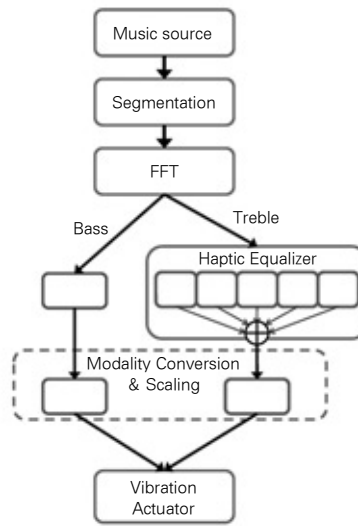


그림 6. 이중 모드 햅틱 음악 플레이어의 진동 생성 알고리즘의 흐름도

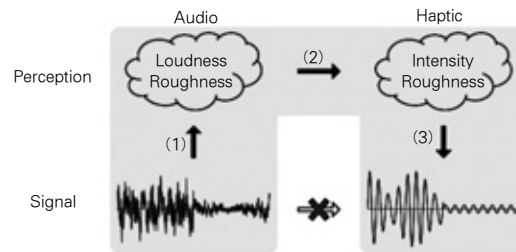


그림 7. 지각단계에서 수행되는 소리-진동 변환

가 발생된다. 이는 진동을 포함한 햅틱 효과는 중요한 부분만 강조하기 위해서 적절한 순간에만 제공되는 것이 바람직하다는 일반적인 사실에 부합하지 않는다. 따라서 이러한 신호처리 기반 방식은 부적절한 진동 피드백을 제공하는 경우가 많을 뿐 아니라 사용자의 촉감 수용기를 쉽게 피곤하게 만들어 오히려 진동 피드백의 몰입감 증대 효과를 상쇄시켜 버릴 수 있다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 우리는 소리-진동 신호의 변환을 신호단(Signal Layer)이 아니라 상위의 지각단(Perception Layer)에서 수행하는 알고리즘을 개발하였다[13]. 이 알고리즘의 개념은 그림 7에 설명되어 있다. 이 알고리즘은 다음의 순서로 수행된다. ① 먼저 소리신호에서 소리의 인지 강도(Loudness)와 거칠기(Roughness)를 알려진 인지 모델을 사용하여 계산한다. ② 이를 원하는 햅틱신호의 인지 강도와 거칠기로 대응시킨다. ③ 원하는 인지 강도와 거칠기를 가지는 햅틱신호를 합성(Synthesis)하여 진동 구동기를 통해 생성한다. 이 과정은 구체적인 인지적 의미를 가

지는 인지적 변수(Perceptual Variable) 사이의 변환 모델을 기반으로 하고 있기 때문에 변환 모델을 설계할 때 그 인지적 의미를 직접적으로 고려할 수 있다. 특히 소리의 거칠기를 고려하는 이유는 햅틱 효과를 발생시키기기에 적절한 경우는 소리의 강도 뿐만 아니라 거칠기도 큰 경우가 일반적이기 때문이다(예: 폭발음, 충돌음 등). 하지만 소리의 강도만 크고 거칠기가 작은 경우(예: 가수의 아름다운 목소리)에는 오히려 진동 효과가 내용의 감상에 방해가 될 수도 있다.

위의 알고리즘에서 원하는 인지 강도와 거칠기를 가지는 진동을 합성하기 위해서 우리는 2개의 서로 다른 주파수를 가지는 단진동(Sinusoidal Vibration)을 더하여 중첩된 진동을 사용하는 방식을 고안하였다. 이때 각 단진동의 크기를 결정하기 위해서 2가지의 정신물리학(Psychophysics) 실험을 수행하였다. 이 실험에서는 각 단진동의 크기가 주어지면 이때 사용자가 느끼는 중첩 진동의 크기와 거칠기를 절대적 크기 추정(Absolute Magnitude Estimation) 방식을 사용하여

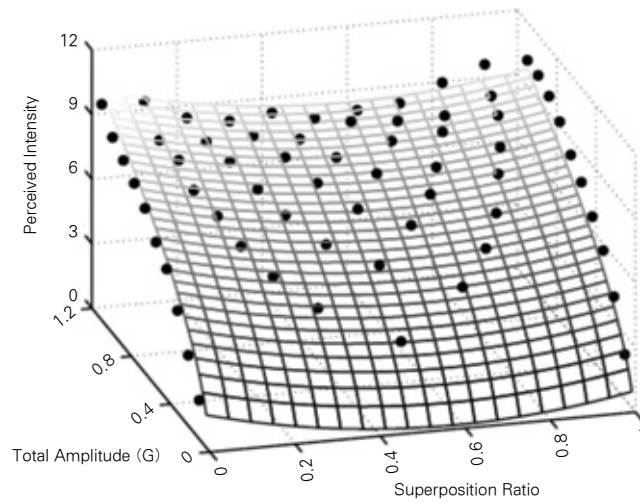


그림 8. 중첩 진동의 인지 강도. Superposition ratio는 2개의 단진동의 혼합 비율을 Total amplitude는 두 단진동의 크기의 합을 의미한다. 두 진동의 주파수는 175와 210Hz 이다.

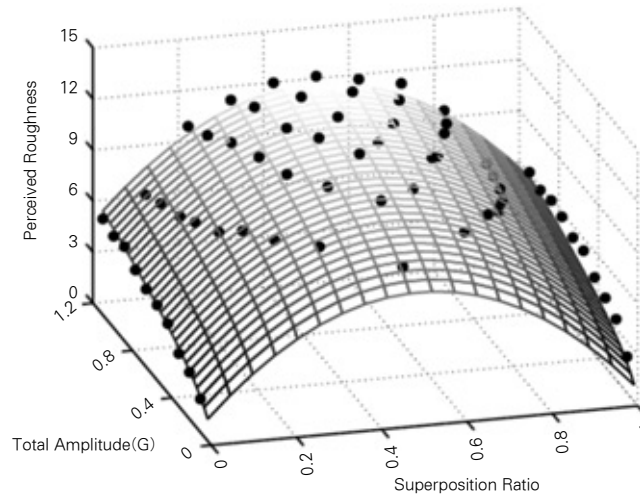


그림 9. 중첩 진동의 인지적 거칠기

측정하였다. 그 결과는 그림 8과 그림 9에 주어져 있다. 이 두 함수의 역함수를 사용하여 원하는 인지 강도와 거칠기를 가지는 중첩 진동의 크기를 결정한다.

이 알고리즘을 안드로이드 기반의 모바일기기에 구현하고 다양한 게임, 영화 등의 콘텐츠를 사용하여 다양한 실험을 해 보았다. 그 결과 숙련된 햅틱 효과 저작자가 직접 만든 햅틱 효과와 비교하여 진동 효과의 시작점이 일치하는 비율이 90%이상을 보여주었다. 또한 사용자 실험에서는 게임 등에 접목된 경우 기존의 신호 처리 방식에 비해서 월등하게 높은 사용자 선호도를 보여 주었다. 그러므로 이 알고리즘은 현존하는 기타 알

고리즘과 비교할 때 그 개념, 알고리즘 및 실험적 성능에서 우수한 차별성을 가진다고 할 수 있다.

2. 비디오를 사용한 진동 효과 자동 저작

비디오를 기반으로 이와 잘 어울리는 햅틱 효과를 자동으로 생성하는 기술은 음원을 사용하는 경우와 비교하여 그 난이도가 매우 높다. 이는 시공간적으로 변하는 시각신호가 진동신호와와는 그 차원 및 의미가 본질적으로 다르고 또한 인간의 시각인지 과정이 훨씬 더 복잡하기 때문이다. 따라서 이 주제에 관련된 연구는 거

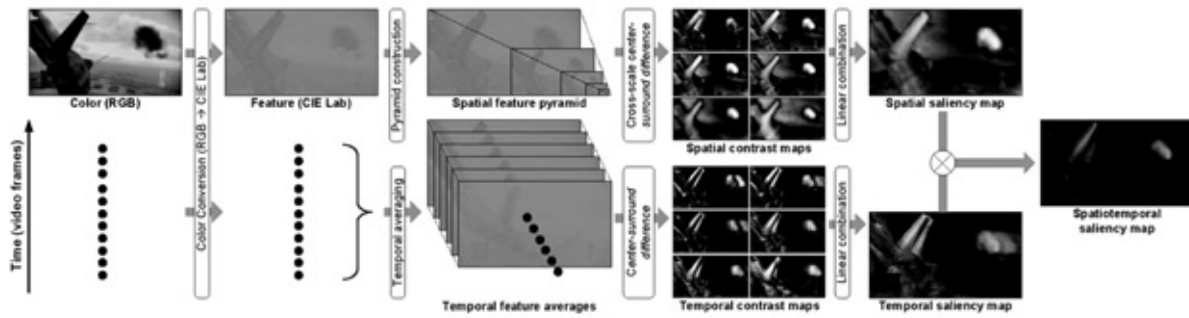


그림 10. 시공간적 돌출맵 계산 과정

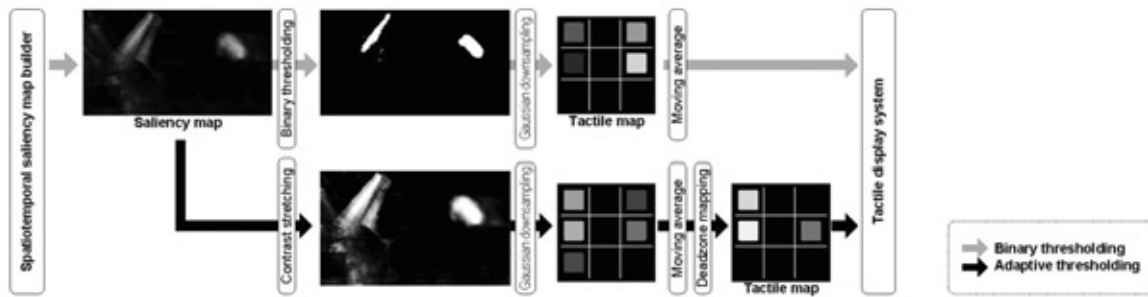


그림 11. 진동 렌더링 계산 과정

의 존재하지 않는다.

저자의 연구실에서는 근래에 시각적 돌출맵(Visual Saliency Map)을 기반으로 관련 연구를 시작하였다. 돌출맵이란 사람의 주목을 끄는 부분과 그렇지 않은 부분을 구분하여 주어진 영상의 각 픽셀의 주목도를 계산하여 만들어진 이미지를 지칭한다[14]. 영상의 주목도가 높은 부분은 사용자가 실제로 바라볼 확률이 높으므로 이 부분을 햅틱 피드백을 사용하여 공간적으로 강조해 주면 사용자에게 보다 향상된 형태의 미디어 감상 경험을 제공하는 것이 가능할 것이라는 가설이 이 연구의 주된 아이디어였다[15]. 이를 위해서 다수의 진동 구동기가 부착된 의자를 제작하였다. 사용자는 이 의자에 앉아서 영화를 보면서 동시에 진동 피드백을 느낄 수 있다. 이 시스템의 주된 알고리즘은 그림 10과 그림 11에 제시되어 있다.

그림 10에 제시된 바와 같이 시공간적 돌출맵(Spatiotemporal Saliency Map)을 계산한다. 이는 영상의 시간적, 공간적 특성을 분석하여 각 픽셀이 사용자의 주목을 끌 가능성을 계산하여 하나의 흑백 이미지를 생성한다. 이 이미지에서 밝은 부분은 주목도가 높고 어두운 부분은 낮다. 이를 위해 잘 알려진 시각인지의 이론을 사용하며 이 이론이 대조맵(Contrast Map)을 계산하는 이론적 근거가 된다. 실제 계산량은 매우

많은 편이며 이를 위해 그래픽 카드의 하드웨어 가속을 사용하여 병렬적으로 계산한다.

이렇게 시공간적 돌출맵이 계산되면 이를 사용하여 진동 구동기 배열의 각각의 구동기를 구동시키기 위한 명령을 만드는 과정이 남아있으며 이 알고리즘이 그림 11에 설명되어 있다. 주로 이미지 처리 알고리즘을 사용하여 대조도(Contrast)를 높이고 너무 빈번한 진동 효과를 방지하기 위해서 데드존(Deadzone)을 사용하는 형태로 구성되어 있다.

위의 시스템을 사용하여 수행한 사용자 평가 결과 그냥 영상만 보는 경우와 비교하여 햅틱 피드백까지 자동으로 제공한 경우에 사용자 만족도가 훨씬 높게 나타났다. 현재 시스템은 시각적 주목도만 사용하기 때문에 아직 그 한계점이 많으나 초기 연구 결과로서는 희망적이라고 할 수 있다.

V. 맺음말

본 글에서는 사용자가 즐길 수 있는 다양한 햅틱 콘텐츠들을 쉽고 빠르게 제작할 수 있게 도와주는 햅틱 저작 기술에 대해 알아 보았다. 이 분야에 대한 연구 및 기술의 발전은 전반적으로 아직 미비한 상태라고 보는 것이

합당할 것이다. 실제로 관련 연구를 수행하고 있는 연구 그룹도 몇 되지 않을 뿐 아니라 아직 많은 사람들이 손쉽게 사용할 수 있고 다양한 기능을 제공하는 솔루션(Solution)은 없는 상태이다. 본 논문이 다양한 분야의 연구자의 관심을 촉발하여 햅틱 콘텐츠 저작 기술에 대한 보다 활발한 연구가 진행될 수 있기를 기대해 본다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0301-13-3005).

(참고문헌)

- [1] M. J. Enriquez and K. E. MacLean, "The Hapticon Editor: A Tool in Support of Haptic Communication Research," in *Proceedings of the International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, IEEE, 2003, pp. 356-362.
- [2] C. Swindells, E. Maksakov, K. E. Maclean, and V. Chung, "The Role of Prototyping Tools for Haptic Behavior Design," in *Proceedings of the Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, IEEE, 2006, pp. 161-168.
- [3] J. Ryu and S. Choi, "posVibEditor: Graphical Authoring Tool of Vibrotactile Patterns," in *Proceedings of the IEEE International Workshop on Haptic, Audio and Visual Environments and Games*, 2008, pp. 120-125.
- [4] J. Ryu and S. Choi, "Benefits of Perceptually Transparent Vibration Rendering in Mobile Device," *Lecture Notes on Computer Science (EuroHaptics 2008)*, Vol. 5024, pp. 706-711, 2008.
- [5] J. Ryu, C.-W. Lee, and S. Choi, "Improving Vibrotactile Pattern Identification for Mobile Devices Using Perceptually Transparent Rendering," in *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI)*, ACM, 2010, pp. 257-260.
- [6] J. Lee, J. Ryu, and S. Choi, "Vibrotactile Score: A Score Metaphor for Designing Vibrotactile Patterns," in *Proceedings of the World Haptics Conference*, IEEE, 2009, pp. 302-307.
- [7] J. Lee and S. Choi, "Evaluation of Vibrotactile Pattern Design Using Vibrotactile Score," in *Proceedings of the IEEE Haptics Symposium*, 2012, pp. 231-238.
- [8] K. Hong, J. Lee, and S. Choi, "Demonstration-Based Vibrotactile Pattern Authoring," in *Proceedings of the ACM International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI)*, 2013, pp. 219-222.
- [9] Y. Kim, J. Cha, I. Oakley, and J. Ryu, "Exploring Tactile Movies: An Initial Tactile Glove Design and Concept Evaluation," *IEEE Multimedia*, Vol. 16, pp. 34-44, 2009.
- [10] A. Chang and C. O'Sullivan, "Audio-Haptic Feedback in Mobile Phones," in *Proceeding of the Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2005, pp. 1264-1267.
- [11] M. Karam, F. A. Russo, and D. I. Fels, "Designing the Model Human Cochlea: An Ambient Crossmodal Audio-Tactile Display," *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 2, 2009, pp. 160-169.
- [12] I. Hwang, H. Lee, and S. Choi, "Real-time Dual-band Haptic Music Player for Mobile Devices," *IEEE Transactions on Haptics*, 2013 (To appear).
- [13] J. Lee and S. Choi, "Real-Time Perception-Level Translation from Audio Signals to Vibrotactile Effects," in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, 2013 (To appear).
- [14] S. Lee, G. J. Kim, and S. Choi, "Real-Time Tracking of Visually Attended Objects in Virtual Environments and Its Application to LOD," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15, 2009, pp. 6-19.
- [15] M. Kim, S. Lee, and S. Choi, "Saliency-Driven Tactile Effect Authoring for Real-Time Visuotactile Feedback," *Lecture Notes in Computer Science (EuroHaptics 2012)*, Vol. LNCS 7283 (Eurohaptics 2012, Part I), 2012, pp. 258-269.



최 승 문
(Seungmoon Choi)

1995: 서울대학교 제어계측공학과 학사
1997: 서울대학교 제어계측공학과 석사
2003: 퍼듀 대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2005~현재: 포항공과대학교 컴퓨터공학과 부교수
관심분야: 햅틱스
E-mail: choism@postech.ac.kr
Tel: +82-54-279-3384
Fax: +82-54-279-5477