

# 반응형 VR 페인팅을 위한 햅틱 인터페이스\*

김민영<sup>0</sup>, 김영준  
이화여자대학교 컴퓨터공학과  
minyong.mia.k@ewhain.net, kimy@ewha.ac.kr

## Haptic Interfaces for Tangible Digital Painting in VR

Minyoung Kim<sup>0</sup>, Young J. Kim  
Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University



그림 1 제안 시스템으로 완성한 3D 페인팅

### 요약

본 연구에서는 사용자에게 촉각 반응형 페인팅 경험을 제공하기 위한 포스 피드백 기반 드로잉 햅틱 인터페이스를 제안한다. 위 시스템을 통해 사용자는 햅틱 스타일러스로 표면기반 페인팅을 구현할 수 있으며 페인팅을 작업하는 동안 HMD의 시각적 피드백과 햅틱 인터페이스의 촉각적 피드백을 동시에 활용할 수 있다. 특히, 펜과 페인팅 메쉬 사이의 스프링-매스 모델을 이용한 드로잉 가이드는 VR 페인팅 프로그램의 반응형 피드백으로서 사용자와 페인팅 사이의 햅틱 인터랙션을 지원하고, 사용자의 불필요한 반복 작업을 줄여 페인팅 작업 효율을 높일 수 있도록 하였다.

### 1. 서론

가상현실(VR)의 개념이 제안된 이후로 많은 연구자들은 물리적 제약이 없는 가상 환경에서 그림을 그리고자 하는 다양한 노력을 해왔다. 3D 가상 공간에서의 페인팅은 현실의 페인팅과 달리 캔버스의 크기 및 재료의 영향 등의 물리적인 제한을 최소화하여 그림을 그릴 수 있다는 장점이 있기 때문이며, 최근 들어 Tilt Brush, Quill, Canvox[1]등의 VR 페인팅 소프트웨어가 다수 등장하였다.

물리적 매개체 없이 허공에 그림을 그리는 VR 페인팅의 특성상 페인팅의 결과를 확인하기 위해 사용자는 통상적으로 시각적인 피드백에 의존하고 있다. 사용자의

시각적 깊이감은 VR 환경의 실제 깊이와 일치하지 않아 사용자가 의도하지 않은 결과물이 제공될 가능성이 높고[2], 사용자는 이를 수정하기 위해 스트로크를 반복해서 그리는 작업을 수행해야 한다. 이는 사용자의 전체적인 생산성을 감소시키고 오랜 시간 페인팅을 작업할 경우 사용자에게 상당한 신체적 피로감을 줄 수 있다[3].

본 논문에서는 이렇게 현존하는 VR 페인팅 시스템의 문제점을 해결하기 위해 포스 피드백 햅틱 장비를 사용한 드로잉 가이드 시스템을 제안한다. 본 시스템을 통해 사용자는 페인팅 미디어와 물리적 반응을 이용하여 보다 효과적이고 실감나는 VR 페인팅을 경험할 수 있다.

### 2. 반응형 햅틱 VR 페인팅 시스템

#### 2.1. 시스템 개요



그림 2 반응형 햅틱 VR 페인팅 시스템

본 연구에서 제안하는 시스템은 크게 페인팅, 햅틱 인터페이스, 햅틱 렌더링, 사용자 모듈로 나뉜다. 페인팅 모듈은 햅틱 인터페이스의 위치 및 사용자 입력을 이용

\* 구두 발표논문, 요약논문 (Extended Abstract).  
\* 본 연구는 연구재단 중견연구지원사업(2017R1A2B3012701)의 지원으로 수행되었음.

하여 공간 상에 페인팅을 생성한다. 햅틱 인터페이스는 햅틱 스타일러스의 위치를 3D 공간 상에 표시하며 사용자 입력과 햅틱 포스 출력을 처리한다. 마지막으로 햅틱 렌더링 모듈은 스트로크 위치와 햅틱 스타일러스의 위치로부터 햅틱 포스를 계산하는 역할을 한다.

## 2.2. VR 페인팅 시스템

본 연구에서 제안하는 페인팅 시스템은 표면기반으로 삼각 스트립 메쉬로 페인팅 스트로크를 표현한다. 페인팅의 주 도구로서 사용자는 스타일러스 타입 햅틱 장비의 펜을 사용하여 펜의 궤적을 따라 3D 공간 상에 메쉬 스트립을 생성한다.

보다 구체적으로, 페인팅 메쉬 스트립을 생성하기 위해서 메쉬 정점값을 스타일러스 펜의 위치와 브러시 크기로 결정한다. 정점의 위치( $v_i$ )는 펜의 위치( $p_i$ )의 수직 방향으로 아래 위로 결정된다. 그 후, 펜의 궤적을 따라 반시계 방향으로 정점버퍼에 저장된다 (그림 3). 동시에 두 위치 벡터의 내적으로 법선 벡터를, 차이로 접선 벡터를 계산하여 정점버퍼에 저장한다.

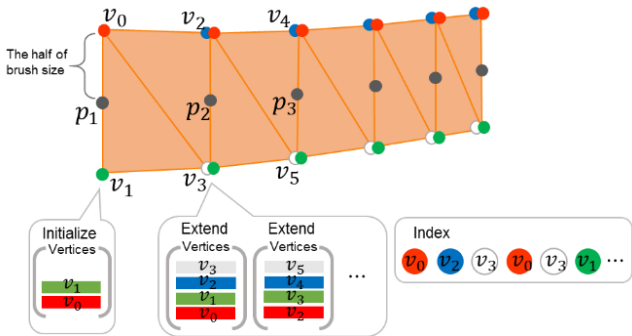


그림 3 삼각 메쉬 스트립 생성 과정

사용자는 페인팅에 필요한 보조 기능들을 사용자가 왼손으로 조작하는 HMD 컨트롤러와의 인터랙션으로 실행되며, 브러쉬 컬러 및 사이즈 선택, 되돌리기, 사용자 모듈의 이동을 실행할 수 있다.

## 2.3. 햅틱 인터페이스

시각적 피드백에만 의존하는 기존 VR페인팅 시스템의 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 스프링-매스 모델 방식의 포스 피드백 드로잉 가이드를 구현하였으며, 3D Systems사의 Touch 햅틱 장비[4]와 Unreal Engine과의 통합을 위해 UnrealHaptic Plugin[5]을 사용하였다.

제안하는 드로잉 가이드에서는 사용자는 현재 선택된 삼각 메쉬 스트립과 펜의 상대적 거리를 촉각으로 느낄 수 있도록, 삼각 메쉬 스트립과 브러시 커서 사이의 거리에 따라 발생하는 탄성력을 햅틱 스타일러스 펜에 적용한다 (그림 4). 이 포스 피드백은 가상 환경의 깊이감을 눈으로만 가늠하던 상황에 비해 상대적 위치를 더욱 더 직관적으로 느낄 수 있다. 이를 활용하여 사용자는 페인팅의 작업 상황에 더 즉각적으로 반응할 수 있어

원하는 페인팅 결과물을 얻을 수 있다.

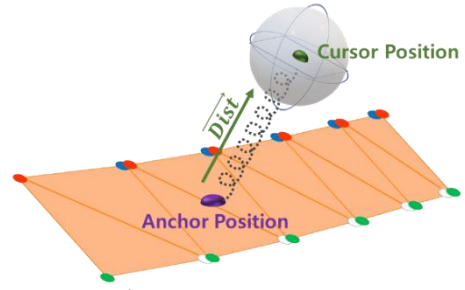


그림 4 햅틱 피드백 개념도

## 2.4. 결과

제안한 햅틱 인터페이스로 페인팅 작업을 수행한 결과는 다음과 같다 (그림 1). 사용자는 스트로크의 시작 지점을 설정한 뒤, 포스 피드백 드로잉 가이드를 통해 현재 햅틱 펜과 시작 지점의 상대적 거리를 촉각적으로 인지하고, 꽃잎과 잎맥 페인팅을 보다 효과적으로 표현할 수 있었다. 더불어, 수면과 빌딩 외벽 종류의 평행한 배경의 페인팅 시에도 그려진 스트로크와의 상대적 위상을 스프링-매스 포스 피드백을 통해 느낄 수 있어서 서로 나란한 방향과 높이의 스트로크들을 표현하는데 도움이 된다.

## 3. 결론

본 연구에서는 사용자의 가상 환경 페인팅 경험을 향상시키기 위해 사용자와 페인팅 사이의 적절한 포스 피드백을 제공하고, 스프링-매스 모델을 표현한 포스 피드백 드로잉 가이드를 적용한 반응형 VR 페인팅 시스템을 제시하였다. 향후 VR 환경에서의 햅틱 장비의 작업공간의 물리적 한계를 개선하기 위한 연구를 수행할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] Yeojin Kim, Byungmoon Kim, and Young J. Kim. "Dynamic Deep Octree for High-resolution Volumetric Painting in Virtual Reality." In *Computer Graphics Forum*, vol. 37, no. 7, pp. 179-190. 2018.
- [2] Rahul Arora, Rubaiat Habib Kazi, Fraser Anderson, Tovi Grossman, Karan Singh, and George W. Fitzmaurice. "Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR." In *CHI*, pp. 5643-5654. 2017.
- [3] Tuulia Koskinen. "Differences and similarities in the creating process between 2D and 3D digital printing.", 2017
- [4] 3D Systems Touch Haptic Device, Website URL <https://ko.3dsystems.com/haptics-devices/touch>, 2019
- [5] Marc O. Rüdél, Johannes Ganser, Rene Weller, and Gabriel Zachmann. "UnrealHaptics: A Plugin-System for High Fidelity Haptic Rendering in the Unreal Engine." In *International Conference on Virtual Reality and Augmented Reality*, pp. 128-147. Springer, Cham, 2018.