

WebRTC 기반 다중 사용자 햅틱 전송 시스템 설계 및 구현

이용준¹, 전승엽¹, 김성훈², 유동호¹한남대학교¹, 한국전자통신연구원²

dongho.you@hnu.kr

Design and Implementation of WebRTC-based Multi-user Haptic Delivery System

Yongjun Lee¹, Seungyeop Jeon¹, Sung-Hoon Kim², Dongho You¹Hannam University¹, Electronics and Telecommunications Research Institute²

요 약

본 논문은 WebRTC의 데이터 채널을 기반으로, 다자간 실시간 햅틱 데이터를 전송할 수 있는 영상회의 시스템을 설계하고 구현하였다. 사용자는 웹 브라우저에서 Display Name을 입력하는 것만으로 방을 생성하거나 접속할 수 있으며, 카메라·마이크·햅틱 장치를 이용해 실시간으로 영상, 음성, 햅틱 정보를 송수신할 수 있다. 특히 햅틱 데이터는 단순한 진동 정보가 아닌 사용자의 의도를 요약한 시멘틱 정보로 구성되어, 통신 지연을 최소화하고 데이터 전송 효율을 높였다. 제안된 시스템은 직관적인 UI와 실시간 상호작용을 제공하여 메타버스, 원격 협업, 온라인 교육 등 다양한 분야에 활용 가능성이 높다.

I. 서 론

최근 메타버스와 가상현실(VR) 기술이 빠르게 발전함에 따라, 사용자 간의 실시간 상호작용의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 특히, 기존의 시청각 정보에 촉각 정보를 결합한 햅틱 기술은 사용자 경험을 한층 더 몰입감 있게 만드는 핵심 기술로 주목받고 있다^[1]. 그러나 햅틱 데이터는 오디오나 비디오 데이터에 비해 전송 지연에 훨씬 민감하다는 특성이 있어, 실시간 전송 환경에서는 별도의 기술적 고려가 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 WebRTC기술이 주목받고 있다. 이는 별도의 프로그램이나 플러그인 설치 없이 브라우저 상에서 오디오, 비디오, 데이터의 실시간 전송을 지원하는 기술로, 저지연 통신이 필요한 다양한 서비스에 널리 활용되고 있다. 특히 WebRTC의 데이터 채널 기능은 구조화된 사용자 정의 데이터를 낮은 지연으로 전송할 수 있어, 햅틱 데이터와 같은 비정형 정보를 실시간으로 전달하는데 매우 적합하다^[2].

본 논문에서는 WebRTC의 데이터 채널을 기반으로 다중 사용자 간 햅틱 데이터를 실시간으로 전송할 수 있는 시스템을 설계하고 구현한다. 기존 연구^[3]에서는 1:1 구조의 단일 연결만을 지원하여, 실시간 햅틱 상호작용의 활용 범위에 한계가 있었다. 이에 반해 본 논문에서 구현된 시스템은 다자간 연결을 지원함으로써 보다 높은 확장성을 제공할 뿐만 아니라, 다수의 사용자가 동시에 상호작용할 수 있는 구조를 통해 실시간성, 몰입감, 그리고 활용 유연성을 향상시킨다.

II. 본론

2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 시스템은 WebRTC 기반의 실시간 화상 통신 및 햅틱 데이터 전송 기능을 갖춘 구조로 구성된다. 그림1과 같은 시스템 구성으로 사용자 인터페이스, WebRTC 시그널링 서버, 그리고 피어 간 직접 연결(Peer-to-Peer, P2P)로 이루어진다. 사용자는 웹 브라우저를 통해 접속하며, 각 사용자는 컴퓨터 및 햅틱 장비를 활용해 시스템에

참여한다. 사용자 간의 연결은 중앙에 위치한 시그널링 서버를 통해 초기화되며, 이 서버는 방 생성 및 접속 요청을 관리하고, 접속자 간의 세션 설정 정보를 증개하여 P2P 통신이 가능하도록 지원한다.

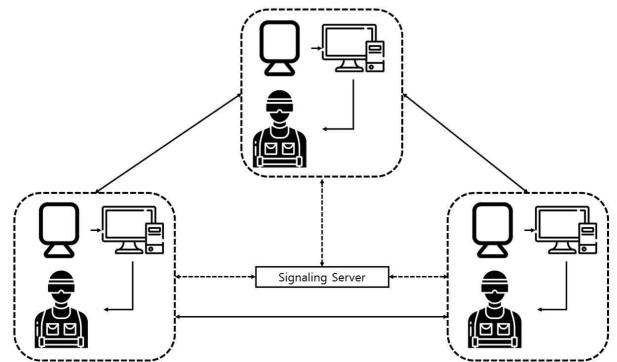


그림 1 물리적 시스템 구성도

전체 시스템은 크게 두 개의 웹 페이지로 구성된다. 첫 번째는 사용자 이름을 설정하고 방을 생성하거나 기존 방에 접속할 수 있는 랜딩 페이지이며, 두 번째는 실시간 화상회의 및 햅틱 데이터 전송이 이루어지는 통신 페이지이다. 사용자는 이 두 페이지를 통해 직관적으로 시스템에 접근할 수 있으며, 별도의 복잡한 설정 없이 실시간 통신을 경험할 수 있도록 설계되었다.

2.2 유저 이름 설정 및 방 생성페이지 구현

사용자가 시스템에 처음 접속하면 가장 먼저 마주하게 되는 화면은 랜딩 페이지이다. 이 페이지는 사용자가 본인의 Display Name을 입력하고, 방을 생성하거나 다른 사용자의 방에 접속할 수 있는 기능을 제공한다. 이때 방의 이름은 별도로 입력하지 않으며, 사용자가 입력한 Display Name이 곧 방의 고유 이름(Room ID)으로 자동 설정되어 활용

된다. 예를 들어, 사용자가 Display Name으로 “user01”을 입력하고 방을 생성하면, 해당 방의 고유 식별자는 “user01’s Room”이 되며, 다른 사용자는 해당 Display Name을 입력함으로써 그 방에 접속할 수 있다. 이를 통해 별도의 복잡한 방 이름 설정 없이도 간편하게 방을 생성하고 접속할 수 있는 구조를 갖추었다. 해당 페이지는 WebRTC 연결을 위한 사전 단계로, 사용자의 식별 정보 설정과 접속 대상 식별을 동시에 수행하며, 이후의 통신 페이지로 원활하게 이동할 수 있도록 한다. UI는 간결하게 설계되어 있어 별도의 설명 없이도 사용자가 직관적으로 사용할 수 있다.

2.3 WebRTC 연결 및 햅틱 전송 페이지 구현

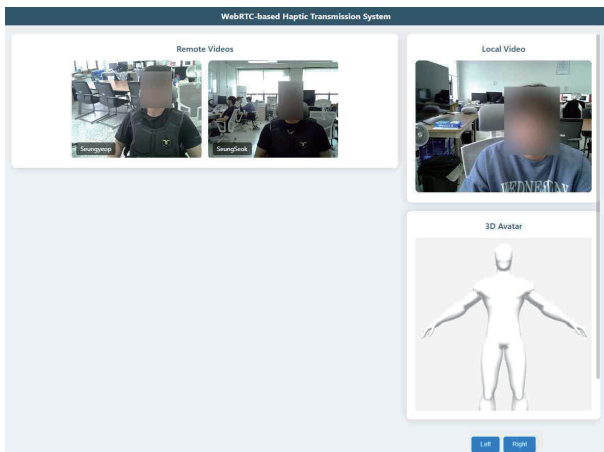


그림 2 햅틱 전송 페이지

Display Name을 통해 방을 생성하거나 접속한 사용자는 WebRTC 통신 기능이 구현된 그림 2과 같은 본 페이지로 이동하게 된다. 이 페이지에서는 실시간 화상 통신과 함께 햅틱 데이터의 송수신이 가능하며, 사용자는 상대방의 영상과 오디오를 실시간으로 수신하고, 특정 UI 요소를 통해 햅틱 정보를 생성하여 전송할 수 있다. 사용자가 방에 접속하면 시그널링 서버는 기존 접속자와 새로운 접속자 간의 연결을 위해 접속 정보를 상호 교환하며, 이를 기반으로 자동으로 WebRTC P2P 연결이 설정된다. 연결이 완료되면 브라우저는 카메라와 마이크에 접근하여 영상과 음성 스트림을 생성하고, 이를 상대 사용자에게 실시간으로 전송한다.

또한, 본 페이지에서는 사용자 아바타의 특정 부위를 클릭하거나 조작함으로써 햅틱 데이터를 생성할 수 있는 인터랙션 기능이 제공된다. 이렇게 생성된 시멘틱 햅틱 데이터는 RTCDataChannel을 통해 지연 없이 전송되며, 수신 측에서는 해당 정보를 실시간으로 해석해 햅틱 장치를 통해 피드백을 출력한다. 이 데이터는 완전한 햅틱 패턴을 담은 사전 정의의 JSON 파일이나 단순 좌표값이 아닌, 자극 부위와 형태, 대상 사용자 등의 정보를 포함하여 사용자의 행동 의도를 요약한 시멘틱 구조로 설계되었다.

예를 들어, 아바타의 상체 전면을 클릭했을 때 생성되는 데이터는 다음과 같다.

```
{
  "roomId": "62238a6a-8e48-4876-9d6c-1703218ee66f",
  "title": "VestFront",
  "number": 17,
```

```
"mode": "dot",
  "users": ["all"]
}
```

여기서 “title”은 자극 부위, “number”는 세부 위치 인덱스, “mode”는 자극 형태, “users”는 대상 사용자를 나타낸다. 이 데이터는 사전에 정의된 JSON 파일을 전송하는 것이 아니라, 시스템이 실시간으로 생성한 정보를 기반으로 상대방이 bhaptics의 JavaScript API(Tact JS)[4]를 호출하여 햅틱을 재생한다.

이러한 구조는 메시지 크기를 줄이면서도 직관적이고 유연한 햅틱 표현을 가능하게 하며, bhaptics사의 햅틱 글러브 및 슈트 장비를 통해 손과 몸 전체에 세밀한 피드백을 전달할 수 있도록 구성되었다. 결과적으로, 기존 화상회의 시스템에서는 제공하기 어려웠던 몰입형 촉각 상호작용을 실현하고, 사용자 경험의 품질을 크게 향상시킨다.

III. 결론

본 논문에서는 WebRTC의 데이터 채널을 기반으로 다자간 실시간 햅틱 통신이 가능한 시스템을 설계하고 구현하였다. 제안한 시스템은 별도의 소프트웨어 설치 없이 웹 브라우저 환경에서 동작하며, 사용자는 단순한 Display Name 입력만으로 방을 생성하거나 접속할 수 있어 높은 접근성과 사용 편의성을 제공한다. 특히 WebRTC의 RTCDataChannel을 통해 햅틱 데이터를 실시간으로 전송하고, 이를 아바타 기반 인터페이스와 연동함으로써 직관적인 촉각 상호작용이 가능하도록 하였다.

무엇보다 본 시스템은 단순한 진동 값이나 위치 정보의 전송이 아니라, 사용자 행위의 의미를 축약된 형태의 시멘틱 정보로 메시지를 전달함으로써, 데이터 효율성과 통신 지연을 동시에 개선하는 구조를 갖춘 것이 특징이다. 이러한 접근은 햅틱 전송의 실시간성과 의미 기반 상호작용을 동시에 충족시킬 수 있으며, 향후 메타버스나 원격 협업, 온라인 교육 등의 다양한 분야에서의 활용 가능성을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00278925).

참 고 문 헌

- [1] 전승엽, 이용준, 정승혁, 김성훈, 유동호, “ATSC 3.0을 위한 햅틱: ATSC A/380 권고안 소개 및 도전과제,” 방송공학회논문지, vol. 29, no. 6, pp. 954-963, 2024.
- [2] Y. Lee, J. Sim, D. H. Kim and D. You, “A comparison of serialization formats for point cloud live video streaming over WebRTC,” in Proc. *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, USA, Jan. 5-8, 2024.
- [3] Y. Lee and D. You, “Demonstration of WebRTC-based video conferencing with tactile sensations,” accepted in *IEEE Consumer Life Tech (ICLT)*, Sydney, Australia, Dec. 11-13, 2024.
- [4] bHaptics Inc., “Tact JS - bHaptics Web Integration Library,” GitHub repository, [Online]. Available: <https://github.com/bhaptics/tact-js>