

# 가상 환경과 실제 환경 연동 시 실행 시간 지연에 대한 실험 분석 및 고찰

오정민, 김보경, 황성욱, 김준영, 박주희\*, 심수민\*  
성신여자대학교, \*현대자동차

ojmin55@gmail.com, 20210540@sungshin.ac.kr, swhwang@sungshin.ac.kr, jkim@sungshin.ac.kr  
\*juhee.park@hyundai.com, simon\_shim@hyundai.com

## Experimental Analysis of Transmission Time Delay between Physical and Virtual Environments

Oh Jeong Min, Kim Bo Kyong, Seong Wook Hwang, Joon Young Kim,  
Ju Hee Park\*, Soomin Shim\*  
Sungshin Women's University, \*Hyundai Motor Company

### 요 약

본 논문에서는 가상 환경과 실제 환경 연동 구현 시 실제 로봇 제어 상황에서의 환경간 실행 지연 시간을 측정하고 분석한다. 이를 위한 실험을 위해서 우선 소형 로봇 형태가 움직이는 Unity 3D 환경 개발 및 실제 소형 로봇 하드웨어와 서버를 통한 연동 구현을 진행하며 가상환경에 입력한 명령 정보 전송을 통한 실제 로봇 작동 동기화 성능 측정을 위해 가상 환경 장치와 서버간 통신 지연 시간을 분석하는 실험을 진행한다.

### I. 서 론

최근 물리적인 환경을 가상 환경으로 구현하는 시스템이 대두되고 있다. 이는 실제 환경의 모바일 로봇 등을 가상환경에서 시뮬레이션을 통한 실험 비용 절감 뿐만 아니라 가상환경과 실제 환경을 연동하여 가상환경에서 실제 환경을 제어하는 것까지 폭 넓게 사용될 수 있다. [1] 이 때 실제 물리적 환경과 동기화된 연동 구현을 위해서는 사용자가 가상 환경과 상호작용을 할 때의 동작 실행 지연 시간을 파악하는 것이 필요하며 이때 무선 간섭 전파 등의 영향을 고려할 때 통신 지연에 대한 분석이 가장 중요하다고 할 수 있다.

가상환경에서 로봇을 작동하여 실제 로봇에 적용할 때에는 크게 두 차례에 걸쳐 통신이 이루어진다. 가상환경에서 서버와 통신하는 경우, 서버와 실제 로봇이 통신하는 경우가 이에 해당한다. 가상환경에서 서버를 거쳐 로봇으로 이어지는 무선통신 환경에서 시간 지연 등의 상황이 발생할 수 있으므로, 서버의 성능 등 무선 통신 환경의 종합적인 분석을 위해 시간 측정이 중요하다. 본 논문에서는 가상환경과 서버의 통신에 초점을 맞추어 시간 분석 실험을 진행하며 외부 간섭 전파 영향에 따른 성능 변화에 대해서도 측정한다.

### II. 가상환경 기반 사용자 로봇 제어 시스템 및 실험

가상환경에서 실제 환경의 로봇을 제어하는 시스템 구조도는 그림 1 과 같다. 사용자가 태블릿 PC 나 노트북 등 무선 환경에서 가상환경을 조작할 때에는 키보드, 마우스 등의 입력 장치를 사용하여 물리적으로 정보를 입력한다. 가상환경과 서버 사이의 정보 전달은 HTTP 프로토콜을 통해 이루어지며, 서버에서 로봇을 제어하는 경우에는 ROS 프레임워크를 활용하여서 구현된다. 이때 서버와 로봇간의 통신은 MQTT 로 이루어지며 서버와 로봇간에 rospy 와 mqtt\_bridge 를 통해서 메시지 변환이

이루어진다. 이때 외부 장치로 인한 간섭 전파로 인해 지연이 발생할 수 있다.

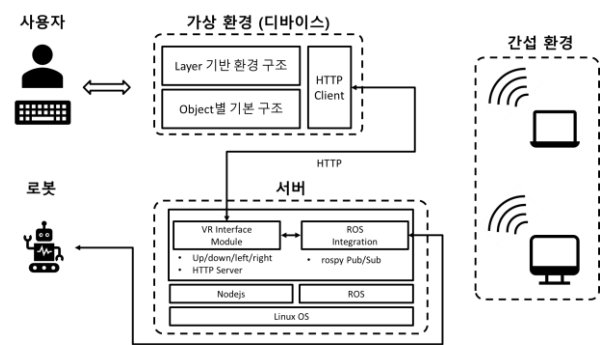


그림 1. 사용자-가상환경-로봇 상호작용 과정 구조도

그림 1 에서 제시된 구조도 하에서 통신 지연이 발생할 수 있는 부분은 크게 두 군데로써 가상환경-서버 간의 통신과 서버-로봇 간의 통신이다. 가상환경-서버 통신의 경우 현재 HTTP 기반으로 송수신이 이루어지나 실제 송수신이 사용자가 조작하는 키보드 버튼 혹은 마우스 조작의 키 값을 주로 전송하는 만큼 높은 데이터 량을 요구하지 않는다. 다만 실질적인 가상환경 내 로봇 움직임과 실제 로봇 움직임 동기화 정확도를 높이기 위해서 가상 환경내 로봇에 해당하는 오브젝트 데이터 전체를 송수신해야 되는 경우에는 해당 구간내에서 지연이 발생할 가능성이 높아진다.

서버-로봇간의 통신 경우 실제 소형 로봇이 유선으로 연결되어 있는 것이 아닌 무선 연결이 강제되는 바 무선 통신 혹은 네트워크 환경으로 인한 영향으로 데이터 지연 발생할 수 있는 가능성이 높다. 데이터를 송신 혹은 수신만 하는 MQTT 적용된 현재 구조상 로봇의 움직임 데이터와 같은 저용량 송수신이 가능하다. 다만 향후

장애물 감지 등의 영상 처리도 동반해야 할 경우 다른 프로토콜 적용 고려가 필요하다.

본 논문에서는 현 가상-실제 환경 연동 구조상에서 HTTP 쓰는 통신 구간인 Unity3D 가상환경과 서버간의 지연을 측정한다. 가상환경에서 키보드를 이용하여 로봇 제어 명령을 전송했을 때 서버에서 로봇으로 명령을 송신하고 이후 응답이 돌아오기까지 걸리는 시간을 측정하여 지연되는 시간을 비교/분석한다. 실험은 간섭 전파가 없는 일반적인 통신의 경우, 무선 스트리밍 간섭 전파가 존재하는 경우, 무선 스트리밍 간섭 전파 장치 2 개 존재하는 경우로 나누어 실험을 진행한다.

보편적으로 가상환경을 구현하는 개발 플랫폼으로써 Unity3D 가 자주 사용된다. [2] 본 논문에서 사용된 가상 환경은 Mac OS 에서 Unity 2021 버전으로 개발되었으며, UnityWebRequest 기능을 통해 가상 환경과 서버와의 HTTP 통신이 이루어졌다. 서버내 VR Interface 모듈에서 ROS Integration 으로 정보 전달의 경우 UDP 통신 방법을 사용하였으며, ROS Integration 에서 실제 로봇과의 정보 전달의 경우 MQTT 통신이 사용되었다. 제어되는 실제 소형 로봇의 경우 TurtleBot3 Burger 장치를 이용하였으며 5GHz 대역에 WiFi 로 연결되었다.



그림 2. 가상환경과 실제 로봇 연동

그림 3 은 가상환경과 서버 간 통신에서 간섭 전파가 없는 경우에서의 지연 시간을 보여주고 있다. 그림 4 에서는 무선 스트리밍 간섭 장치가 1 개 존재하는 환경의 경우, 그림 5 에서는 무선 스트리밍 간섭 장치 2 개가 존재하는 환경에서의 지연 시간을 나타낸다.

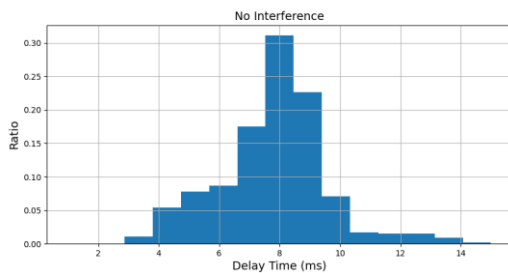


그림 3. 간섭 전파가 없는 경우

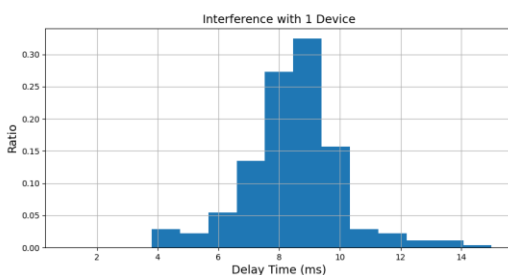


그림 4. 무선 스트리밍 간섭 전파 장치가 1 개 경우

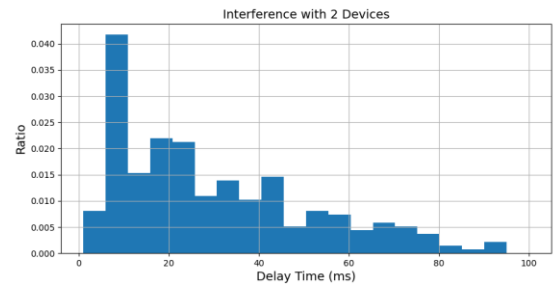


그림 5. 무선 스트리밍 간섭 전파 장치가 2 개 경우

그림 6 은 간섭 전파가 없는 경우, 무선 스트리밍 간섭 전파 장치가 각각 1 개, 2 개가 있는 경우의 평균 통신 지연 시간을 나타낸 것이다. 간섭 전파가 존재하지 않는 상황에서 통신이 이루어지는 동안 지연되는 시간은 간섭 전파가 존재하는 경우의 지연 시간보다 짧았다. 간섭 전파 장치가 2 개 존재하는 경우 통신 지연 시간이 비교적 다양하게 분포되었으며 평균적인 통신 지연 시간은 간섭 전파가 존재하지 않거나 간섭 전파 장치가 1 개 존재하는 경우보다 유의미하게 길었다.

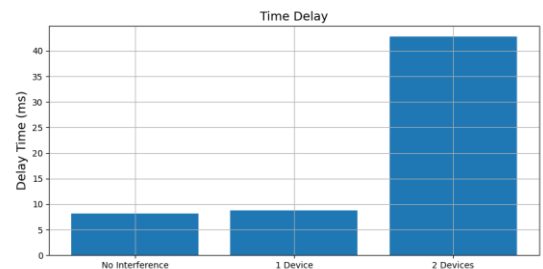


그림 6. 실험 별 통신 지연 시간 비교

### III. 결론

본 논문에서는 가상환경과 서버 간 통신에 대한 지연 시간을 분석하였으며 Unity 3D 를 활용한 분석 결과 간섭 전파가 존재하지 않는 경우와 무선 스트리밍 간섭 전파가 존재하는 경우의 통신 지연 시간을 측정 및 확인하였다. 향후 후속 연구로 동일 환경내에서의 MQTT 통신상에서의 시간 지연 측정 및 분석과 더불어 가상환경의 코드에 따른 지연도 포함하여 다중 로봇 환경에서의 동작 성능에 대해서 복합적으로 분석할 예정이다. [3]

### 참 고 문 헌

- [1] Codd-Downey, Robert, et al. "From ROS to unity: Leveraging robot and virtual environment middleware for immersive teleoperation." 2014 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). IEEE, 2014.
- [2] Sita, Enrico, et al. "ROS-Unity3D based system for monitoring of an industrial robotic process." 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). IEEE, 2017.
- [3] Shin, Kang G., and Xianzhong Cui. "Computing time delay and its effects on real-time control systems." IEEE Transactions on control systems technology 3.2 (1995): 218-224.