

자율 복원 사이버 물리 시스템을 위한 SDN 기반 link failover

박인희, 박경준
대구경북과학기술원

{inhee, kjp}@dgist.ac.kr

SDN based Link Failover for Resilient Cyber-Physical Systems

In Hee Park, Kyung-Joon Park

Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology (DGIST)

요약

본 논문은 자율 복원 Cyber-Physical System(CPS)에서 네트워크에 링크 단절과 같은 문제가 발생하여 물리 시스템의 안전성이 제대로 보장받지 못하는 상황에 대비하여 실시간으로 문제를 파악하고 대체 경로를 찾아주는 방법에 대한 연구로써 Software Defined Networking (SDN) 기술을 이용하여 통신을 하는 중에 물리적인 링크의 단절이 발생한 후 회복되는 시간을 측정하는 실험을 통해 얻은 결과를 바탕으로 다양한 환경에서의 실험을 진행할 계획이다.

I. 서론

최근 4 차 산업혁명에 대한 관심이 커지면서 CPS[1, 2]에 대한 관심이 커지고 있다. CPS 는 물리 시스템과 사이버 시스템 간의 상호작용에 초점을 두는 것으로 이때 물리 시스템과 사이버 시스템 간의 정보전달 과정이 통신망을 통하여 이루어진다. 또한, 물리 시스템은 실시간에서 시간의 흐름에 따라 변화하는 반면 사이버 시스템은 시간의 흐름과는 별개로 연산 결과에 따른 논리의 흐름에 따라 동작하는 차이가 있다. 그래서 통신망에 링크 단절과 같은 치명적인 문제가 발생하여 실시간으로 동작을 하는 물리 시스템에 사이버 시스템의 정보가 제대로 전달이 되지 않는 경우가 발생하게 되면 물리시스템이 불안정하게 되어 전체 시스템이 제대로 동작을 못 하는 경우가 발생한다.

이러한 CPS 에서 자율 복원을 위해 실시간성을 고려하여 물리 시스템에서 요구되는 제한시간 내에 네트워크 토폴로지 재구성 및 복원을 보장을 해주기 위해서 각 링크/네트워크를 모니터링하여 손상을 감지하여 장치를 일괄 제어하여 신속하게 재구성하는 것이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 중앙의 control plane 을 통해 전체 네트워크 통제가 가능한 SDN[3]을 이용하여 테스트베드 환경을 구축하여 물리 시스템의 안전성을 보장하기 위한 link failover 실험을 진행하였다.

II. 본론

2.1 구축된 테스트베드

이 절에서는 본 논문에서 link failover 실험을 위해서 구축되었던 테스트베드에 대한 내용을 설명한다. 실제 실험을 위해서 구축된 테스트베드는 그림 1 과 같이 4 개의 스위치와 2 개의 host PC 와 SDN controller 로 이루어져 있다. 이렇게 환경을 구축한 이유는 실제 물리 시스템을 이용하여 실험하기에 앞서 먼저 PC 사이에

간단한 메시지를 주고받는 실시간 통신을 하는 중 링크 단절이 발생한 후 회복이 되는 시간이 얻는 정도 되는지 알아보기 위해서다.

또한, 유선만 있는 환경이 아닌 유무선인 경우가 실제 CPS 환경에서 더 자주 있으므로 이러한 환경을 고려하여 하나의 스위치는 무선으로 동작하여 하나의 host PC 는 무선으로 또 다른 host PC 는 유선으로 연결이 된 형태로 구성하였다.



그림 1 구축된 테스트베드

테스트 베드를 구축하는데 사용된 장비에 대하여 말하자면 4 개의 스위치는 라즈베리파이 3 에 오픈소스인 OpenvSwitch[4]을 설치하여 OpenFlow 1.3 버전이 지원되게 하여 사용을 하였고 SDN controller 는 ONOS[5]를 사용하였으며 host PC 들은 Window 10 환경의 PC 와 리눅스 환경의 PC 를 사용하였다.

2.2 link failover 실험 및 결과

이 절에서는 앞서 설명하였던 테스트 베드를 이용하여 진행하였던 실험의 시나리오 및 실험을 통해서 얻은 결과에 대하여 설명한다.

실험 방식은 테스트베드에 연결된 두 개의 host PC 에서 한 대는 ICMP 패킷을 1ms 의 주기로 전송하며 나머지 한 대는 패킷을 모니터링하는 방식으로 진행하였다. 이렇게 전송을 하는 중에 그림 2 에 나타난 것과 같이 원래 경로인 S1-S3-S4 에서 S3-S4 에 물리적 링크 단절이 발생하는 경우에 이를 SDN controller 에서 문제 상황을 파악하고 대체 경로인 S1-S2-S4 로 경로를 이동하는 형태로 진행하였다.

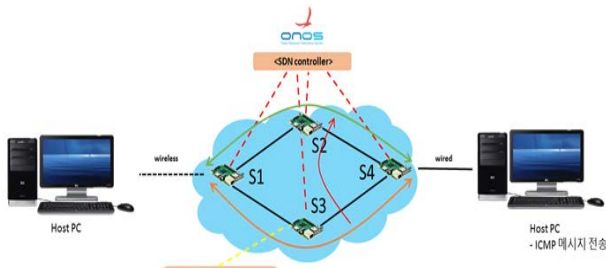


그림 2 Link Failover 시나리오

이렇게 실험을 진행하면서 링크 단절 시 손실된 패킷의 수와 회복 직후 패킷의 RTT (Round Trip Time), 평균 RTT의 측정결과를 모니터링을 통해 얻어서 회복 시간을 측정하였다. 회복 시간은 아래와 같은 식을 이용하여 계산하였다.

회복 시간 = 패킷 주기 * 패킷 손실 개수 + RTT - 평균 RTT

실제 실험을 하면서 나온 결과는 그림 3 과 같이 링크의 단절이 발생하였을 때 원래 경로에서 대체 경로로 이동하여 실시간 통신이 이루어지도록 하는 것과 실제 host PC 를 통해서 전송된 ICMP 패킷의 결과를 확인할 수 있었다.



그림 3 실제 실험 결과

평균적인 회복 시간을 알기 위해서 위에서 설명한 실험을 15 번 반복을 하였으며 각각 나온 ICMP 패킷의 결과에 대하여 회복 시간 계산식을 이용하여 각각의 회복 시간을 계산하여 표 1 과 같이 정리하였다.

실제 15 번의 실험을 통해서 얻은 결과를 통해 평균 회복 시간 30.20ms 안에 링크가 회복되는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 실시간으로 자율 복원 CPS 환경의 통신망에서 네트워크에 문제가 발생했을 때 물리 시스템에서 요구되는 제한시간 내에 정보가 제대로 전달 될 것으로 예상된다.

시행횟수	패킷 손실 수	RTT	평균 RTT	평균 회복시간
1	6	7.09ms	4.427ms	9.462ms
2	7	8.31ms	4.039ms	11.271ms
3	4	7.91ms	3.912ms	7.998ms
4	4	7.06ms	3.047ms	8.013ms
5	5	8.44ms	4.192ms	9.240ms
6	5	8.51ms	4.080ms	9.42ms
7	309	8.43ms	5.681ms	311.749ms
8	5	8.00ms	4.185ms	8.815ms
9	7	8.45ms	4.026ms	11.424ms
10	7	6.17ms	4.237ms	8.933ms
11	5	10.5ms	4.462ms	14.038ms
12	6	9.66ms	4.154ms	11.506ms
13	5	9.63ms	4.640ms	9.99ms
14	5	9.00ms	4.167ms	9.836ms
15	7	8.75ms	4.466ms	11.284ms
Avg.	25.8	8.501ms	4.301ms	30.20ms

표 1 회복시간 결과

하지만 표 1 에서 볼 수 있듯이 패킷이 많이 손실이 발생하는 경우가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 SDN controller 에서 링크의 단절 문제 파악 및 대체 경로의 설정에 관련된 부분에 대한 수정 및 보완이 필요하다. 보완을 진행하면서 실제 물리 시스템으로 적용이 되고 적합한지를 알기 위해 다른 시스템과의 연동을 진행할 예정이다.

III. 결론

본 논문에서는 자율 복원 CPS 에서 실시간으로 물리 시스템의 안전성을 보장하기 위한 link failover 에 대한 연구로 실제 실험을 진행하여 평균 30.20ms 로 링크가 회복되는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 물리 시스템의 요구되는 제한 시간을 만족할 것으로 예상되며 표 1 에서 알 수 있듯이 좀 더 수정 및 보완을 할 필요가 있다. 또한, 만들어진 테스트베드를 열차 시스템에 적용하여 실제 물리 시스템에서도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있을지 실험을 할 예정이며 다양한 네트워크 환경에 대하여 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was partly supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (NRF-2016R1C1B2007899) and Institute for Information and communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP; 2014-0-00065, Resilient Cyber-Physical Systems Research)

참 고 문 헌

- [1] K.-J. Park, R. Zheng, and X. Liu, "Cyber-physical systems: Milestones and research challenge," Computer Communications, vol.36, issue 1, pp. 1-7. Dec. 2012
- [2] K.-J. Park, J. Kim, H. Lim, and Y. Eun, "Robust path diversity for network quality of service in cyber-physical systems," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2204-2215, November 2014.
- [3] S. Sezer et al., "Are we ready for SDN? Implementation Challenges for Software-Defined Networks," IEEE Communications Society, pp. 36-42. July 2013.
- [4] ONOS website, <https://wiki.onosproject.org>.
- [5] OpenvSwitch website, openvswitch.org.