

사이버물리시스템에서 이벤트 트리거 제어를 위한 네트워크 스케줄링

문시훈, 김도환, 박경준
DGIST

{msh0576, dhkim, kjp}@dgist.ac.kr

Network Scheduling for Event-triggered Control in Cyber-Physical Systems

Sihoon Moon, Dohwan Kim, and Kyung-Joon Park
DGIST

요약

물리시스템, 통신, 연산의 세 요소가 통합된 형태인 사이버물리시스템의 물리시스템 성능 향상을 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 사이버물리시스템에서의 물리시스템 성능은 통신망의 할당된 전송 스케줄링과 밀접한 관계를 갖는다. 본 논문에서는 물리시스템의 성능 향상을 위한 이벤트 트리거 제어 시스템에 적합한 네트워크 전송 스케줄링 기법을 제안한다.

I. 서론

최근 교통, 의료, 산업시설 등 다양한 분야에서 사이버물리시스템(Cyber-Physical Systems, CPSs) 패러다임이 등장한 이래로 관련 연구들이 큰 주목을 받고 있다. 기존의 임베디드 시스템이 개별적으로 동작되는 것과 달리 사이버물리시스템은 각 시스템간의 상호작용이 존재한다. 사이버물리시스템은 물리시스템, 통신, 연산의 세 요소가 통합된 형태이며, 물리시스템의 상태가 네트워크를 통해 관찰, 조율 및 제어가 되는 통합시스템이다[1, 2].

이러한 사이버물리시스템의 특징으로 인해, 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks, WSNs) 분야에서도 사이버물리시스템을 적용한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 기존의 무선 센서 네트워크 연구는 물리시스템의 상태와는 무관하게 네트워크만의 신뢰성 향상, 전송 지연 시간 감소 등과 같은 연구가 진행되었지만, 사이버물리시스템은 네트워크와 물리시스템간 상호작용이 존재하기 때문에 물리시스템과 네트워크 2 가지 관점을 모두 고려해야 한다.

본 논문에서는 사이버물리시스템에서의 물리시스템 성능 향상을 위한 이벤트 트리거 제어 시스템에 적합한 네트워크 전송 스케줄링 기법을 제안한다. 여러 종류의 물리시스템들이 혼재할 경우, 각 물리시스템의 요구되는 네트워크 전송 빈도가 시스템의 특성에 따라 달라진다. 상대적으로 민감한 물리시스템은 빠른 제어를 하기 위해 많은 네트워크 전송 시도가 필요할 것이며, 둔감한 물리시스템은 적은 네트워크 전송 시도만으로도 충분할 것이다. 그렇기 때문에 각 물리시스템의 특성에 맞게 네트워크 전송 스케줄을 잡는 것이 필요하다.

사이버물리시스템의 구체화를 위해 네트워크는 산업 무선 센서 네트워크(Industry Wireless Sensor Networks, IWSNs) 분야에서 표준으로 채택된 WirelessHART 를 고려한다. WirelessHART 는 중앙서버에서 모든 네트워크 노드들을 관리하며 데이터 전송을 위해 시간적으로 분할하여 신호가 겹치지 않도록

하는 시분할 다원접속(Time Division Multiple Access, TDMA) 기술을 사용한다.

물리시스템은 특정 사건이 발생할 경우 피드백이 진행되는 이벤트 트리거 제어 시스템을 고려한다. 이벤트 트리거 시스템은 주기적으로 물리시스템의 상태 값을 제어기로 전송하는 기존의 제어 시스템과는 달리 물리시스템의 상태가 불안정 하여 제어가 필요한 순간만 상태 값을 보내는 기법이다. 그렇기 때문에 주기적인 제어 시스템에 비해 제어 피드백의 빈도를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

II. 본론

사이버물리시스템에서의 이벤트 트리거 제어 시스템 구조는 그림 1 과 같이 표현된다. 시스템은 n 개의 물리시스템과 n 개의 제어기, 그리고 네트워크로 구성된다. 각 물리시스템에 부착된 센서는 이벤트 발생 조건을 검사 후 조건을 만족하면 물리시스템의 상태 정보를 제어기에게 무선으로 전송한다. 이벤트 발생 조건은 센서 노드에서 측정된 물리시스템의 현재 상태 값과 이전 측정 값의 차이가 특정 경계 값 이상인 경우 이벤트가 발생한다[3]. 제어기는 물리시스템의 상태 정보를 받으면 이에 해당하는 제어 입력 값을 연산하여 물리시스템에게 전달한다. 물리시스템은 전달받은 제어 입력 값에 따라 동작된다.

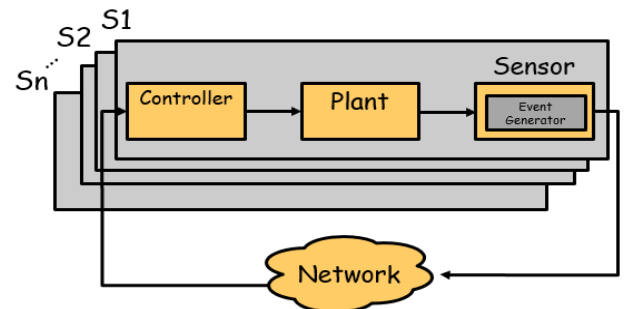


그림 1. 이벤트 트리거 시스템 구조.

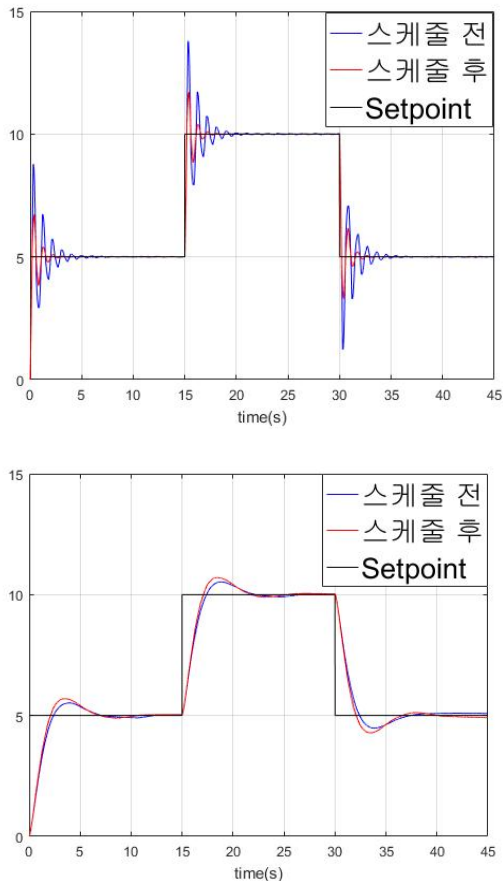


그림 2. 물리시스템의 제어 결과(위: P1, 아래: P2)

네트워크의 시분할 다원접속 기술을 통해 센서들은 중앙서버로부터 전송 가능한 시간을 할당 받는다. 할당 받은 전송 가능 시간에 이벤트가 발생할 경우 센서는 물리시스템의 상태 정보를 전송하며, 이벤트가 발생하지 않는 경우에는 전송을 하지 않는다. 전송을 하지 않는 시간에는 다른 센서들도 전송을 할 수 없기 때문에 이러한 낭비되는 시간들을 효율적으로 관리해줄 필요가 있다.

제안하는 네트워크 전송 스케줄링 기법은 물리시스템들의 전송 비율을 균일화함으로써 전체 물리시스템들의 제어 비용을 줄이는 것을 목표로 한다. 전송 비율은 할당된 전송 시간 대비 실제 전송 시간의 비율로 표현된다. 예를 들어 10 초 동안 할당된 전송 시간이 1 초일 때, 실제 전송에 사용된 시간이 0.5 초라면 전송 비율은 $0.5/1=0.5$ 가 된다.

제안된 기법의 성능 비교를 측정하기 위해 MATLAB Simulink 를 사용한 시뮬레이션을 진행하였다. 총 30 개의 물리시스템 중 반응속도가 상대적으로 빠른 P1 과 반응속도가 느린 P2, 두 종류의 물리시스템을 각각 15 개씩 위치한다. 그리고 P1 과 P2 의 이벤트 발생 경계 값은 각각 0.01 과 0.1 로 설정하였다. 물리시스템의 상태 정보 전송을 위한 시간 슬롯은 WirelessHART 표준을 따라 10ms 로 설정하였다. 데이터 전송은 반복적인 Superframe 으로 진행되며 Superframe 의 크기는 총 60 개의 슬롯들로 구성된다.

모든 물리시스템에 균등하게 전송 시간을 할당할 경우, 각 물리시스템은 Superframe 당 2 개의 슬롯을 할당 받는다. 이 때 P1 과 P2 의 평균적인 전송 비율은 각각 0.8 과 0.37 로 균일하지 않음을 알 수 있다. 제안된 네트워크 전송 스케줄링 기법을 사용하여 P1 과 P2 의

전송 비율이 비슷해지는 지점을 찾을 수 있다. Superframe 당 할당된 슬롯 개수가 P1 은 3, P2 는 1 일 때 전송 비율이 각각 0.52, 0.49 이 된다.

그림 2 는 스케줄링 전, 후 물리시스템의 제어 결과를 보여준다. 그림 2 의 아래 그래프에서 P2 에게 할당된 슬롯 수가 줄었음에도 불구하고 제어 성능 변화에 큰 차이가 없는 반면, P1 은 overshoot 가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 정량적인 제어 성능 비교를 위해 제어 비용 값 비교를 진행하였다. 제어 비용은 제어 오차의 누적된 값으로 계산되며 낮은 제어 비용은 좋은 제어 성능을 의미한다. P1 의 제어 비용 값이 10.6 에서 4.7 로 감소함으로써 제어 성능의 향상을 확인할 수 있다. P2 의 제어 비용 값이 20.9 에서 21.2 로 소폭 상승하였지만 전체 시스템의 제어 비용 값이 감소했으므로 제안된 기법의 전체 시스템 성능 향상을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 이벤트 트리거 시스템에서 전송 비율을 균일화하는 네트워크 스케줄링 기법을 통해 전체 물리시스템의 제어 성능 향상을 보여주었다. 이 후 연구로는 다양한 물리시스템 종류를 고려하고, 스케줄링 과정에서 구체적인 알고리즘을 확립할 계획이다.

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 challenges," *Computer Communications*, vol. 36, issue 1, pp. 1-7, December 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] Mazo, Manuel, and Paulo Tabuada. "Decentralized event-triggered control over wireless sensor/actuator networks." *IEEE Transactions on Automatic Control* 56.10 (2011): 2456-2461.