

의료로봇용 소프트웨어 프레임워크의 EtherCAT 기반 모터 제어 컴포넌트 개발

Development of motor control component for medical robot software framework based on EtherCAT

베 이 시 아 든¹, 김천우¹

Veysi Adin¹, Chunwoo Kim¹

Abstract: Component based software engineering principles can be applied to the development of a robot software to facilitate the complex development process. This paper reports development of a EtherCAT master as part of a software framework for medical robot. A multi axis motor controller is implemented using an open source EtherCAT master running in preemptive real-time Linux. The real-time performance of the controller is evaluated in terms of periodicity, jitter, and execution time.

Keywords: EtherCAT, medical robot, software framework

1. 서 론

수술 로봇 및 의료기기에 사용되는 소프트웨어의 개발은 IEC-62304 [1] (Medical devices software - Software life cycle processes) 에 규정된 절차에 따라 전체 개발 과정이 관리되어야 하며, 개발된 소프트웨어의 기본 안전 및 필수 성능에 대해 검증 및 유효성 확인 (Verification and Validation) 이 이루어져야 한다. 컴포넌트 기반 소프트웨어 공학 (component based software engineering) [9] 방법론의 적용을 통해 이러한 복잡한 의료 기기 소프트웨어 개발 과정을 더 효율적으로 만들 수 있다. 의료 기기에서 자주 사용되는 모터 제어, 센서 입력 처리, 영상 처리 및 네비게이션 같은 주요 기능을 컴포넌트화 시킴으로써 각 컴포넌트 단위, 또 통합된 시스템 단위에서의 검증 및 수정을 손쉽게 할 수 있으며, 검증된 컴포넌트들의 재활용이 가능해진다.

컴포넌트 기반 소프트웨어 개발을 위해서는, 컴포넌트의 생성 및 연결을 도와주는 소프트웨어 프레임워크가 필요하다. 산업용 로봇 소프트웨어의 경우, ROS [2], OROCOS [3], OPRoS [4] 와 같은 프레임워크가 이미 개발되어 있으며, 의료 로봇에 특화된 프레임워크로는 미국 Johns Hopkins University 에서 cisst-saw 프레임워크 [5] 가 개발된 바 있다.

본 논문에서는 의료로봇용 소프트웨어 프레임워크의 일부분으로 개발 중인, 여러 수술 로봇 및 전동 의료기기 개발에 활용 가능한 EtherCAT 고속 통신 기반 모터 제어 소프트웨어 컴포넌트의 개발 과정 및 초기 실시간 성능 평가 결과를 제시한다.

2. 모터 제어 컴포넌트 개발 및 성능 평가

2.1 EtherCAT 기반 모터 제어 컴포넌트 개발

EtherCAT 은 Beckhoff Automation 에서 2003년에 개발한 이더넷 통신 기반의 필드버스 시스템으로 100 us 이하의 제어 주기와 1 us 이하의 jitter 를 달성하기 위한 고속 필드버스 통신 규격이다. 기존 임베디드 시스템과 및 자동화 시스템을 제어하는데 사용되던 CANOpen 통신 규격과 장치 프로파일을 EtherCAT 통신을 통해 주고 받을 수 있는 CANopen over EtherCAT protocol (CoE) 이 구현되어 있어서, 기존 모터 제어에 활용되던 CAN 통신을 대체할 수 있다.

본 연구에서는 일반 리눅스 컴퓨터에서 오픈 소스 이더넷 마스터 IgH EtherCAT master [6] 를 사용하여 모터 제어 컴포넌트를 개발하였다. 이더넷 마스터 구현에 사용한 컴퓨터의 성능은 [Table 1] 과 같다. 리눅스의 실시간화를 위해서는 기존 일반 리눅스 커널을 활용할 수 있는 RT_PREEMPT 패치를 적용한다.

※ 이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호 20009071)

1. 헬스케어로봇연구단 KIST (cwkim@kist.re.kr)

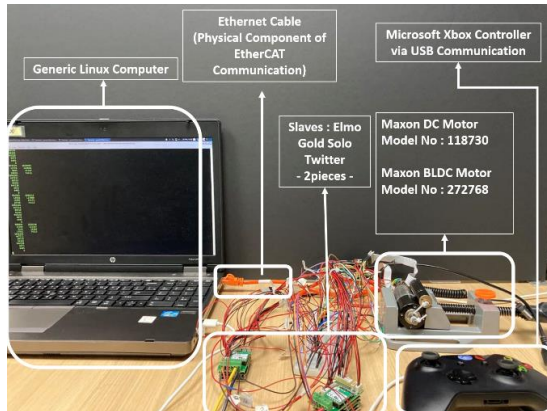


Fig 1. 실험 환경

2.2 실시간 제어 성능 실험 및 결과

개발된 모터 제어 컴포넌트의 실시간 성능을 실험을 통해 확인하기 위해 [Fig. 1]과 같이 실험장치를 구성하였다. 이더넷 마스터에 슬레이브로 두개의 Gold Solo Twitter 모터 제어기를 연결하였고, 이를 통해 각 슬레이브에 연결된 모터의 속도를 마스터에 연결된 조이스틱으로 제어하는 프로그램을 구현하였다. 각 슬레이브는 마스터와 28 byte 의 데이터 (14 bytes TxPDO, 14 bytes RxPDO) 를 1kHz 주기로 통신하며 연결된 모터의 속도를 제어하였으며, 10분동안 매 제어 주기마다 주기 T_{period} 및 정확도 T_{jitter} , 실험 시간 T_{exec} 을 측정하였다.

실험 동안 제어 프로그램은 CPU 를 4.9%, RAM 을 0.1% 점유하였으며 측정 결과는 [Table 2]와 같다. 여러 실시간 리눅스에서 이더넷 마스터의 성능을 측정했던 기존 연구 [7] 결과와 비교했을 때, 같은 RT_PREEMPT 패치를 사용한 마스터보다는 약간 더 향상된 성능을 나타내었으나 Xenomai 를 사용한 마스터보다는 부족한 성능을 나타냈다.

3. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구를 통해 일반 리눅스 컴퓨터에서, 오픈 소스 이더넷 마스터를 사용하여 다축 모터를 제어하는 제어 소프트웨어를 개발하였고 그 실시간 성능을 확인하였다. 의료 기기 소프트웨어는 위험 관리 절차에 따른 위험 요소 식별하고, 식별된 위험 요소에 대해, 위험을 경감할 수 있는 안전 장치 (safety feature) (예, 과도한 힘 감지에 따른 전원 차단) 를 구현해야 한다. 이러한 의료 기기 소프트웨어 개발의 특성을 감안하여 현재 제어 소프트웨어를 컴포넌트화 하는 과정이 진행할 계획이다.

Master (Generic Linux Computer)	
CPU	Intel Core i7-3520M CPU @ 2.90GHz
RAM	6GB
Network Card	Intel 82579V Gigabit Network (driver; e1000e)
Kernel	4.14.209-rt101
IgH EtherCAT	v1.5.2 + patch

Table 1. 실험에 사용한 하드웨어 조건

T_{period} (μ s)	Avg. \pm St.D	999.9999 \pm 4.2544
	Min / Max	934.3960 / 1053.0009
T_{jitter} (μ s)	Avg. \pm St.D	2.5126 \pm 3.4335
	Min / Max	0 / 65.6040
T_{exec} (μ s)	Avg. \pm St.D	35.9314 \pm 5.6212
	Min / Max	11.7270 / 196.4389

Table 2. 실시간 성능 측정 결과

References

- [1] "IEC 62304:2006", ISO, 2021. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/38421.html>. [Accessed: 21- Feb- 2021].
- [2] "ROS.org | Powering the world's robots", Ros.org, 2021. [Online]. Available: <https://www.ros.org/>. [Accessed: 21- Feb- 2021].
- [3] "The Orocos Project - Smarter control in robotics & automation", Orocos.org, 2021. [Online]. Available: <https://orocos.org/>. [Accessed: 21- Feb- 2021].
- [4] S. Han, M. Kim, and H. S. Park, "Open software platform for robotic services," *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 467-481, Jul. 2012.
- [5] "cisst libraries and Surgical Assistant Workstation (SAW)", [Online]. Available: <https://github.com/jhu-cisst/cisst/wiki> [Accessed: 21- Feb- 2021].
- [6] "IgH EtherCAT Master for Linux", Etherlab.org, 2021. [Online]. Available: <https://etherlab.org/en/ethercat/> [Accessed: 21- Feb- 2021].
- [7] R Delgado, B Wook. "Real-time Servo Control using EtherCAT Master on Real-time Embedded Linux Extensions" *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017: 12(21): 11179-11185