

스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜 개발

The Development of Protocol for Construction of Smart Factory

이 용 민*, 이 원 복**, 이 승 호***★

Yong-Min Lee*, Won-Bog Lee**, Seung-Ho Lee***★

Abstract

In this paper, we propose the protocol for construction of smart factory. The proposed protocol for construction of smart factory consists of an OPC UA Server/Client, a technology of TSN realtime communication, a NTP & PTP time synchronization protocol, a FieldBus protocol and conversion module, a technology of saving data for data transmit latency and synchronization protocol. OPC UA server/client is a system integration protocol which makes interface industrial hardware device and supports standardization which allows in all around area and also in not independent from any platform. A technology of TSN realtime communication provides an high sensitive time management and control technology in a way of sharing specific time between devices in the field of high speed network. NTP & PTP time synchronization protocol supports IEEE1588 standardization. A fieldbus protocol and conversion module provide an extendable connectivity by converting industrial protocol to OPC. A technology of saving data for data transmit latency and synchronization protocol provide a resolution function for a loss and latency of data. Results from testing agencies to assess the performance of proposed protocol for construction of smart factory, response time was 0.1367ms, synchronization time was 0.404ms, quantity of concurrent access was 100ea, quantity of interacting protocol was 5ea, data saving and synchronization was 1,000 nodes. It produced the same result as the world's highest level.

요 약

본 논문에서는 스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜을 제안한다. 제안하는 스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜은 OPC UA Server/Client, TSN 실시간 통신 기술, NTP & PTP 시간 동기화 프로토콜, 필드버스(Field Bus) 프로토콜 및 컨버전 모듈, 데이터 전송 지연에 대한 저장기술 및 동기화 프로토콜로 구성된다. OPC UA Server/Client 는 산업용 하드웨어 디바이스와 인터페이스 하기 위한 시스템 통합 프로토콜로써 플랫폼에 의존적이지 않고 다방면에서 사용할 수 있는 표준을 지원한다. TSN 실시간 통신 기술은 고속 네트워크 환경에서 디바이스들 간 정확한 시간을 공유함으로써 생산라인 등의 정밀한 시간관리 및 제어기술을 제공한다. NTP & PTP 시간 동기화 프로토콜은 IEEE1588 표준화 기술을 제공한다. 필드버스 프로토콜 및 컨버전 모듈은 산업에서 주로 사용하는 프로토콜을 OPC로 변환하여 연결의 확장성을 제공한다. 데이터 전송 지연에 대한 저장기술 및 동기화 프로토콜은 데이터 전송 지연과 데이터의 손실에 대한 해결 기능을 제공한다. 제안된 스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 시험기관에서 실험한 결과 응답시간은 0.1367ms, 동기시간은 0.404ms, 동시접속 수는 100개, 프로토콜의 연동개수 5개, 데이터 저장 및 동기화는 1,000노드로 세계최고 수준과 동일한 결과를 산출하였다.

Key words : OPC UA, TSN, NTP & PTP, Fieldbus, Conversion Module, Data Transmit Latency, Synchronization

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

** VISIONTECH

*** Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Sep. 2, 2019; revised Sep. 12, 2019; accepted Sep. 17, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

최근 스마트 팩토리 기술은 ICT(Information and Communication Technology)와 기존의 생산 제조 기술이 융합되어 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, CPS(Cyber-Physical System) 등의 기술 등을 통해 공장의 장비, 장치 부품들이 서로 연결되고 상호 소통되는 생산 체계로 변화되고 있다. 그러나 제조 사업의 현장에서는 다양한 센서 및 통신 디바이스들이 설치되어 다양한 정보를 생성하지만 서로 다른 인터페이스 및 통신 방식의 사용으로 통신 환경의 불균형을 유발하여 장비들 사이의 연동이나 정보를 체계적으로 획득하고 관리하는데 어려움이 발생하고 추가 비용의 증가 현상이 발생되고 있다. 또한 이러한 다양한 프로토콜의 사용으로 인하여 각각의 프로토콜을 재해석 하고 변환하는 작업을 거쳐야하기 때문에, 많은 지연요소를 가지게 되어 실시간 정밀 디바이스들을 제어하는데 적합하지 않은 환경이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 고속 네트워크 환경에서 TSN 통신환경을 구축하기 위하여 정밀한 시간 제어를 위한 NTP/PTP가 구현된 OPC UA 프로토콜을 사용한 표준 프로토콜을 개발한다.

II. 본론

1. OPC UA Server/Client

OPC UA 프로토콜을 사용하여 플랫폼에 의존적이지 않은 독립적 구성이 가능하고 프로토콜 내부에 구현된 안정적인 통신 메카니즘을 제공하고 있기 때문에 Industry 4.0의 구현을 위한 가장 이상적

Table. 1. OPC UA Function Item & Specification.

표 1. OPC UA 구현항목과 사양

No	Item	Specification
1	Core Specification Parts	Part 1 : Concepts
		Part 2 : Security Model
		Part 3 : Address Space Model
		Part 4 : Services
		Part 5 : Information Model
		Part 6 : Service Mapping
		Part 7 : Profiles
2	Access Type Specification Parts	Part 8 : Data Access
		Part 9 : Alarms and Conditions
		Part 10 : Programs
		Part 11 : Historical Access
3	Utility Type Specification Parts	Part 12 : Discovery
		Part 13 : Aggregates

인 통신 프로토콜이라고 할 수 있다[1][2]. 산업 현장에서 요구하는 플랫폼의 환경을 구축하기 위하여 OPC UA 프로토콜 내 구현한 기능을 표 1에 정리하였다.

그림 1은 구현된 OPC UA의 계층 구조를 나타내고 있다.

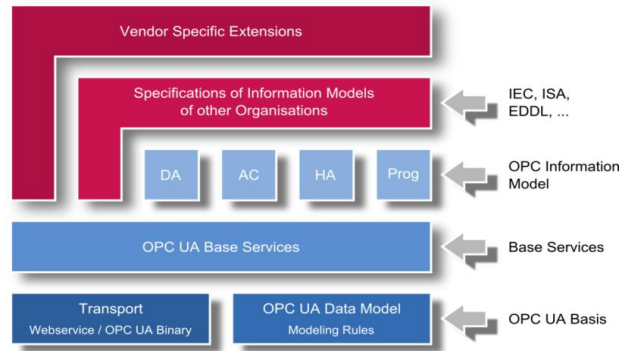


Fig. 1. Hierarchical Structure of OPC UA Platform.

그림 1. OPC UA 계층 구조

2. TSN 실시간 통신 기술

TSN[3] 기술은 Layer 2(L2)의 이더넷을 기반으로 저지연 및 low delay variation, 낮은 패킷 손실의 확정적(Deterministic) 서비스를 제공하는 기술이다. OPC UA를 채용함으로써 OPC UA 내부에 구현된 타이머 관련 실시간 네트워크 기능을 활용하여 다음과 같은 기능을 지원하도록 구현하였다.

- 고저속 디바이스들 사이의 정확한 타이밍 공유
- 전송지연의 최소화를 통한 장비 동기화
- 통신지연 및 손실의 최소화를 통한 동기화

3. NTP & PTP 시간 동기화 프로토콜

NTP & PTP[4]는 여러 임베디드 시스템이 네트워크로 연결되어 있을 때 기기간의 시간을 동기화하기 위해 구현한 프로토콜이다. 이는 운영체제에서 데몬(daemon)으로 동작하여 네트워크를 통하여 타기기와의 동기화를 수행하는데, IEEE1588 표준

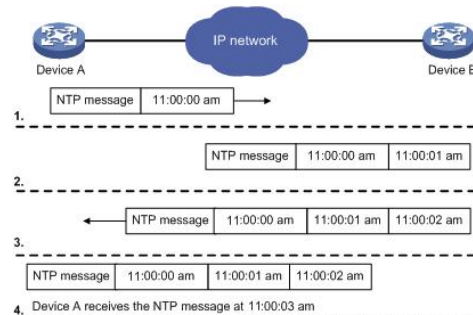


Fig. 2. Time Synchronization Flow.

그림 2. 시간 동기화 플로우

화를 따르며 정밀한 시간 동기화를 위해 주기적으로 동기화를 하며 그림 2와 같이 각 디바이스들이 서로 시간관련 데이터 프레임을 주고받으며 상호 시간을 동기화한다.

한편, 보다 정밀한 시간의 동기화를 위하여 Master 동작모듈과 Slave 동작모듈이 필요하며, 클록 오프셋에 따르는 시간적 오차를 수정하기 위하여 그림 3과 같이 BMC(Best Master Clock) 알고리즘을 도입하여 구현하였다. 마스터/슬레이브 계층에 대한 추적경로가 성립된 후 동기화를 수행하고 Sync, Delay_Req, Delay_Resp와 같은 이벤트 메시지를 교환하여 주파수 또는 시간의 동기화를 구현하여 연산된 시간적 보상값을 시스템에 적용하여 시간을 동기화 하는 방식이다.

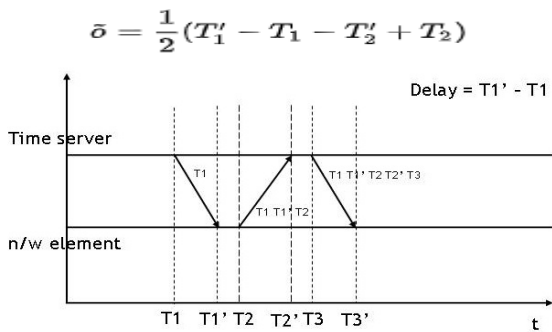


Fig. 3. Calculation of Delay by BMC Algorithm.
그림 3. BMC 알고리즘에 의한 딜레이 계산

4. 필드버스(Field Bus) 프로토콜 및 컨버전 모듈

산업현장에서 사용되는 다양한 프로토콜을 OPC UA 프로토콜로 변환하기 위하여 Modbus TCP, Modbus RTU[5], Genibus, Mitshbishi MC, OPC UA 등의 다양한 프로토콜들에 대한 변환 모듈을 개발하였다. 해당 프로토콜은 OPC UA 프로토콜로 변환되어 타 PLC 기기 혹은 산업용 디바이스와의 데이터 교환을 위해 변환모듈을 통하여 관리시스템과 연동된다. 그림 4와 같이 5종의 PLC 모듈은 각각 다른 산업용 프로토콜을 이용하지만 변환모

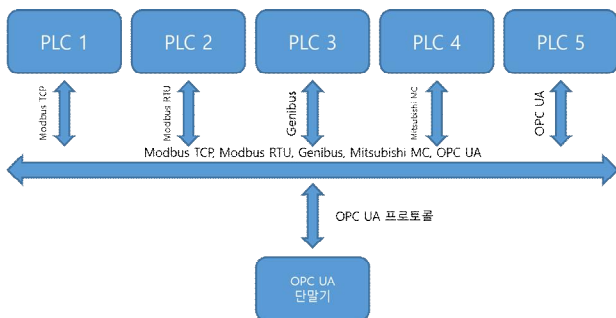


Fig. 4. Types of Protocols Supported.
그림 4. 지원하는 프로토콜의 종류

듈을 통해 상호 FieldBus Network에서 데이터 교환을 수행할 수 있다[6].

5. 데이터 전송지연에 대한 저장기술 및 동기화 프로토콜

기존 통신장치들의 아주 큰 문제점으로 서버와의 연결이 되지 않거나 네트워크의 오류로 인한 데이터 전송 지연과 데이터의 손실에 대한 해결 기능을 제공하기 위하여 데이터 저장을 위한 램과 플래시 메모리를 사용하여 휘발성/비휘발성 메모리에 효율적인 메시지 형태의 데이터 저장기술을 개발하였다. 이를 위해 그림 5와 같이 message queue 메시징 시스템을 사용하여 트랜잭션 및 분산 트랜잭션을 모두 지원하도록 하였다[7].

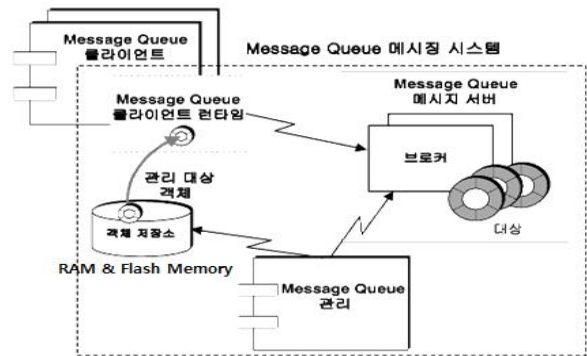


Fig. 5. Message Queue Messaging System.
그림 5. 메시지 큐 메시징 시스템

또한 센서 및 디바이스로부터 생성된 데이터에 생성 일시의 태그를 붙여 확장 메모리 영역에 임시로 보관하고 장시간 데이터 전송의 지연에 대비하여 비휘발성 메모리에 데이터를 저장하여 데이터의 손실을 최소화 하고 서버의 연결이 감지되면 재전송 및 동기화 프로토콜에 맞추어 데이터를 전송하여 손실이 최소화된 동기화 프로토콜 개발하였다. OPC UA 서버 및 클라이언트 사이에 클록이 동기화 되고, 상호 인터페이스를 통해 데이터를 주고받고 있는 상황에서 네트워크에 문제가 발생하는 상황(전원이 OFF 되었거나 통신선로에 문제가 발생하는 등의 물리적 외부요인에 의한 중단상황)에 최근 100개 정도의 로그내용을 실시간으로 저장하여 다시 복구될 때 이를 복원하여 종래의 네트워크 환경과 같은 상황으로 되돌리는 기능을 구현하기 위하여 다음과 같은 플래시 메모리의 로그 데이터 형태를 만들었다.

```
YIMDIHIMISINPUT IO| OUTPUT IO|DATA INFORMATION|
```

6. 성능 실험

가. 실험 방법

본 논문에서 제안한 스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여, 공인인증기관에서 그림 6과 같이 테스트 환경을 구축하여 실험하였다.



Fig. 6. Test Configuration Environment.

그림 6. 테스트 구성 환경

나. 실험 결과

실험 결과, 표 2와 같이 클라이언트 요청에 따른 서버의 응답시간은 0.1367ms, 디바이스간의 동기시간은 0.404ms, 서버에 대한 클라이언트의 동시접속수는 100개, 최대 프로토콜의 연동개수는 5개, 데이터 저장 및 동기화는 1,000노드를 확보하였다. 따라서 세계최고 수준과 동일한 결과를 산출하였기 때문에 그 효용성이 입증되었다.

Table 2. Result of Certificate of Accreditation Agency

표 2. 공인시험성적서 결과

Evaluation Item (Performance Specifications)	Unit	Evaluation Result
Response Time	ms	0.1367
Synchronization Time	ms	0.404
Concurrent Access	ea	100
Interacting Protocol	ea	5
Data Saving/Synchrnozation	ea	1,000

III. 결론

본 논문에서는 스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 스마트 팩토리를 위한 프로토콜은 OPC UA Server/Client, TSN 실시간 통신 기술, NTP & PTP 시간 동기화 프로토콜, 필드버스(Field Bus) 프로토콜 및 컨버전 모듈, 데이터 전송지연에 대한 저장기술 및 동기화 프로토콜로 구성되었다. 제안된 스마트 팩토리 구축을 위한 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과 응답시간은 0.1367ms, 동기

시간은 0.404ms, 동시접속 수는 100개, 프로토콜의 연동개수 5개, 데이터 저장 및 동기화는 1,000노드로 세계최고 수준과 동일한 결과를 산출하였다. 향후 연구 과제는 스마트 팩토리 구축을 위해 해당 기술이 산업현장에 실제 사용되어 디바이스간의 정확한 시간적 동기화를 통해 제조공정의 관리의 극대화를 하여 제조 산업에 필요한 실증적 실험연구가 필요하다고 사료된다.

References

- [1] Grossmann, Daniel, Klaus Bender, and Benjamin Danzer. "OPC UA based field device integration," *2008 SICE annual conference. IEEE*, 2008. DOI: 10.1109/SICE.2008.4654789
- [2] Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. "Making existing production systems Industry 4.0-ready," *Production Engineering*, Vol.9, Issue.1, pp.143-148, 2015. DOI: 10.1007/s11740-014-0586-3
- [3] Wollschlaeger, Martin, Thilo Sauter, and Juergen Jasperneite. "The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0," *IEEE industrial electronics magazine*, vol.11, no.1, pp. 17-27, 2017. DOI: 10.1109/MIE.2017.2649104
- [4] Yu, P. F., et al. "The research of precision time protocol IEEE 1588," *Automation of Electric Power Systems*, vol.33, no.13 pp.99-103, 2009.
- [5] Jun-Soo Seol, Seung-Ho Lee, "A Study on Development of Voice and SMS Alarm System based on MODBUS Protocol," *Journal of IKEEE*, Vol.19, No.3, pp.311-318, 2015. DOI: 10.7471/ikeee.2015.19.3.311
- [6] Tovar, Eduardo, and Francisco Vasques. "Real-time fieldbus communications using Profibus networks," *IEEE transactions on Industrial Electronics*, vol.46, no.6 pp.1241-1251, 1999. DOI: 10.1109/41.808018
- [7] Coutts, Jeffrey D., and W. Garland Phillips. "Method and apparatus in a radio messaging system for forming a current frame of data while maintaining a correct transmission order for numbered messages," U.S. Patent No. 5,974,054. 26 1999.