

동적 재구성 환경에서 교착상태를 예방하기 위한 오차 시간 메시지 브로드캐스트 기법 연구

신현준 · 김성진 · 오창현*

Error Time Message Broadcast Method to Prevent Deadlock in Dynamic Reconfiguration Environment

Hyun-Jun Shin · Sung-Jin Kim · Chang-Heon Oh*

Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education(KOREATECH), Cheonan 31253, Korea

요 약

산업 4.0 이전의 많은 제조 방식들이 단순히 생산 라인의 단점을 극복하는 것이 목적이라면, 산업 4.0은 생산 설비 스스로 작업 방식을 결정하여야 한다. 이러한 과정 속에서 FMS, AMS, MAS 등의 제조 방식들이 발전하여 왔으나, 이러한 제조방식들은 기계, agent, 자원 공유 등의 이유로 교착상태가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 여러 연구가 진행되어 왔지만, 사람의 개입으로 인해 제조 방식이 동적으로 재구성되는 상황에서 발생하는 교착상태를 방지하는 연구는 미비하다. 본 논문에서는 동적으로 재구성되는 상황의 모델을 제시하며, 이러한 상황에서 발생하는 교착상태를 방지하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 사람이 개입한 기계의 제조 시간이 변경될 경우 주변 기계들에게 오차 시간 메시지를 브로드캐스트함으로써 생산 제조 시간을 조절한다. 이를 통해 생산 라인의 상황이 변화하더라도 교착상태는 방지할 수 있을 것이라 예상된다.

ABSTRACT

Before Industry 4.0, a purpose of manufacturing processes is simply overcoming the weakness of product line. However, Industry 4.0 should determine its method of work of facilities' own accord. Manufacturing processes such as FMS, AMS, MAS have been developed in these procedures, but there are possibilities of deadlock that can be happened for the reason of machine, agent or resource sharing. There were many studies to solve this problem. However, studies about prevention of deadlock happened in the situation that manufacturing processes are reconfigured dynamically because of human's intervention are incomplete. This paper proposes the model of the situation reconfigured dynamically and the method to prevent the deadlock in this situation. The proposed method adjusts production and manufacturing time by broadcasting time error messages to machines around when the manufacturing time of machine intervened by human is changed. Through this, it is anticipated to prevent the deadlock if conditions of the product line are changed.

키워드 : 교착상태 예방, 동적 재구성, 산업 4.0, 메시지 브로드캐스트

Key word : Deadlock prevent, Dynamic reconfiguration, Industry 4.0, Message broadcast

Received 01 November 2016, Revised 03 November 2016, Accepted 09 November 2016

* Corresponding Author Chang-Heon Oh(E-mail:choh@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1187)

Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan, 31253, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.11.2131>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

그 동안의 공장 자동화 작업 방식이 미리 입력된 프로그램에 의해 생산시설이 수동적으로 움직이는 것을 의미했다면 산업 4.0은 생산 설비 스스로 작업 방식을 결정하여야 한다. 산업 4.0은 독일 제조업이 직면한 사회, 기술, 경제, 생태, 정치 부문의 변화에 ICT를 접목해 총력적으로 대응하겠다는 전략으로, 사물인터넷 (IoT) 과 기업용 소프트웨어, 위치정보, 보안, 클라우드, 빅데이터, 가상현실 등 ICT 관련 기술들을 적극 활용하는 스마트 공장을 목표로 한다. 이를 위해 모든 생산 설비에 스마트 오브젝트를 장착함으로써 자율 협업과 공장-설비-제품-소비자의 네트워크 연결 및 통합관리가 가능해야 하며, 모든 생산정보의 지식이 실시간으로 공유, 활용되어 최적화된 생산 운영이 가능한 공장인 동시에 이러한 개념의 확장을 통해 상, 하위 공장들과 연결되어 협업적 운영이 지속될 수 있는 생산 체계를 갖추어야 한다[1, 2].

또한, 산업 4.0을 실현시키기 위해 CPS가 중요한 역할을 담당하고 있으며, CPS(cyber-physical system)라는 매개체를 통해 센서, 액추에이터(actuator), 모바일 기기 등 물리적 세계의 사물이 인터넷 상의 서비스와 연결되며, 물리적 세계에서 진행되는 일들이 실제 가상의 세계로 반영되어 사전검증, 실시간 관리, 사후분석을 처리할 수 있어야 한다. 현재 유럽, 스웨덴, 미국, 중국, 대한민국 등 세계적으로 CPS를 이용하여 산업 4.0을 실현시키려 노력 중이다[3, 4].

산업 4.0 이전의 많은 고급 제조 방식들은 단순히 생산 환경의 단점을 극복하는 것을 목적으로 유연 생산 시스템(FMS:flexible manufacturing system), 민첩 제조 시스템(AMS:agile manufacturing system) 등을 제안하였으며, 이들의 발전으로 다중 에이전트 시스템(MAS: multi-agent system)이 등장하였다[5, 6]. 이러한 시스템들은 기계, agent, 자원 공유, 등으로 교착상태가 발생하는데, 이는 시스템 관리와 작업과정 등에서 효율적인 처리 과정을 중단시키거나 무력화 시키며 특히 자원 공유 체제를 붕괴 시키는 중대한 결함을 발생시킨다. 하지만 이들은 정해진 자원 또는 고정적인 프로세서에 의해 발생하는 교착상태에 대해 논의하며, 사람의 개입으로 인해 변화되는 상황에 대한 논의는 미비한 실정이다. 본 논문에서는 기계, agent, 자원 공유 간의 교착상태뿐

만 아니라 사람의 개입으로 기계의 제조 시간에 영향일 끼칠 경우, 이 때 발생하는 교착상태에 대한 연구이다. 이를 방지하기 위해 생산 환경의 모델링을 제시하고 제조 시간 변경됨에 따라 동적 재구성되는 모델에서 메시지 브로드캐스트 방식을 이용한 교착상태 방지 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장 서론에 이어 제 2장에서는 CPS. 교착상태에 대해 기술하며 제 3장에서는 제안한 메시지 브로드캐스트를 통한 동적 재구성에 대해 기술하며 마지막으로 제 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1. CPS

CPS는 실제 물리 세계와 그 위에서 진행되는 다양하고 복잡한 프로세스들과 정보들을, 인터넷을 통해 데이터에 접근 및 처리하는 서비스 기반으로 사이버 세계에 밀접하게 연결시켜 주는 컴퓨터 기반 구성 요소 및 시스템을 말하며, 스마트 공장 CPS는 지능화된 ‘상황 인지’, ‘판단(의사결정), ‘수행’을 통하여 제조 현장의 설비 간 네트워크에서부터 설계, 운영에 관련된 최적화된 의사결정을 통합하여 지원한다[7].

비록 CPS가 새로운 기술이 아닐지라도 MAS, SOA (service-oriented architectures), WSN(wireless sensor networks)[8], IoT (Internet of Things)[9], cloud computing[10], AR(augmented reality), big data, M2M (machine-to-machine), mobile internet[11] 등의 기존 기술을 혼합하여 신기술로 만들어야 한다. 다만 안전, 보안, 상호 운용성 등의 중요한 과제가 여전히 남아 있다[12]. 일반적인 FMS, AMS는 정해진 생산 환경에서 연구가 진행되지만 사람의 제조 방식이 개입되면 생산 방식이 동적으로 재구성되므로 CPS를 통해 사전검증, 실시간 관리, 사후분석에 대한 연구가 진행되어야 한다.

따라서 CPS를 통해 물리 세계의 교착상태를 사이버 세계에서 진행된다면 산업 4.0을 위한 연구 방향에 도움이 될 것으로 기대된다.

2.2. 교착상태

교착 상태의 문제는 생산 환경에서 발생할 수 있다.

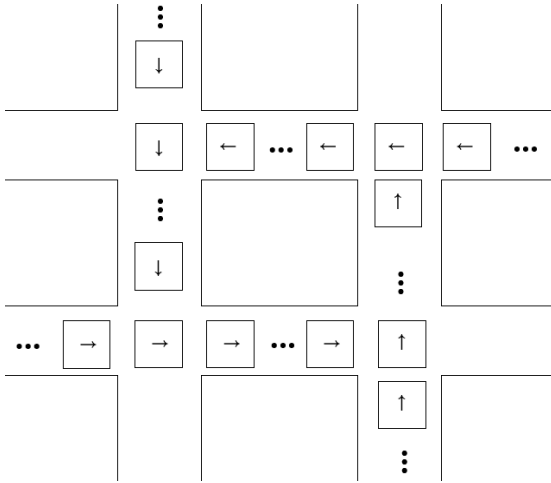


Fig. 1 Traffic deadlock

이는 FMS 연구에서 중요한 문제이며, 교착 문제를 해결하기 위한 교착상태 확인 및 회피 방법에 대하여 많은 연구가 진행 되었으며, 대표적인 분석기법으로 Petri Net을 활용한 연구가 활발하다[13, 14].

그림 1은 교착상태의 일반적인 모습으로 자원에 접근하는 것을 서로 방해함으로써, 문제가 발생하는 모습을 나타낸다. 데이터 통신, 다중처리 운영시스템, 분산 데이터베이스 시스템에서 가장 잘 알려진 문제이지만 산업 4.0의 생산 환경에서 발생하는 교착상태에 대한 연구가 진행될 필요가 있다.

III. 동적 재구성 시스템 모델

본 장에서는 교착상태를 방지하기 위해 임의의 생산 환경 모델과 모델이 동적으로 재구성될 경우에 교착상태가 발생할 수 있는 조건 및 교착 상태를 방지하기 위한 방안을 제시한다.

3.1. 예제 모델

그림 2는 산업 현장에서의 임의 모델이다. 해당 모델은 세 가지 기계 (M_1, M_2, M_3)으로 구성 되어 있으며, 특정 제품 구성에 따라 세 가지 종류의 부품(P_1, P_2, P_3)을 생성하도록 되어 있다. 또한 부품의 경로는 화살표 방향으로 움직인다.

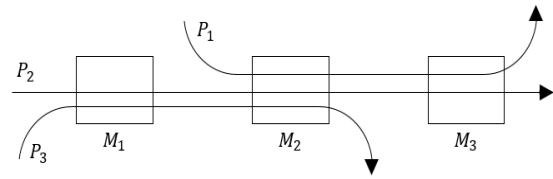


Fig. 2 Routing of parts along machines

본 논문에서 제안하는 모델의 요구 사항은 다음과 같다.

- 각 기계는 하나의 부품만이 이용 가능하다.
- 부품(P_1, P_2, P_3)은 주기적으로 입력된다.
- 설치 시간과 주행 시간은 없다.
- 각 기계에서의 부품 제조 시간은 동일하다.

교착상태가 발생하려면 둘 이상의 프로세서가 각기 다른 프로세서가 점유한 자원을 요구하면서 양쪽 모두 작업 수행을 할 수 없어 대기 상태로 놓이는 상태이다. 본 논문에서는 프로세서를 기계라 간주한 후, 해당 기계가 오랜 제조 작업 중으로 인해 다른 기계가 대기 상태로 놓이는 상황이라 간주한다.

그림 2의 경우, 기계 M_1, M_2, M_3 에 부품 P_1, P_2, P_3 이 순차적으로 입력될 경우에는 각 기계에서의 부품 제조 시간이 동일하기 때문에 교착상태가 일어나지 않는다.

3.2. 예제 모델의 문제점

그림 2는 사람의 개입 없이 오직 기계만으로 구성된 모델이다. 하지만 제조 시간이 일정한 기계뿐만이 아닌 환경, 건강 상태, 체력 등의 조건들로 인해 제조 작업 시간이 달라질 수 있는 사람의 개입이 있는 환경이 조성된다면 이전 모델과 상황이 달라진다.

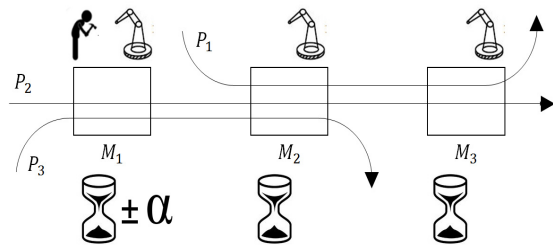


Fig. 3 Routing of parts along machines and man

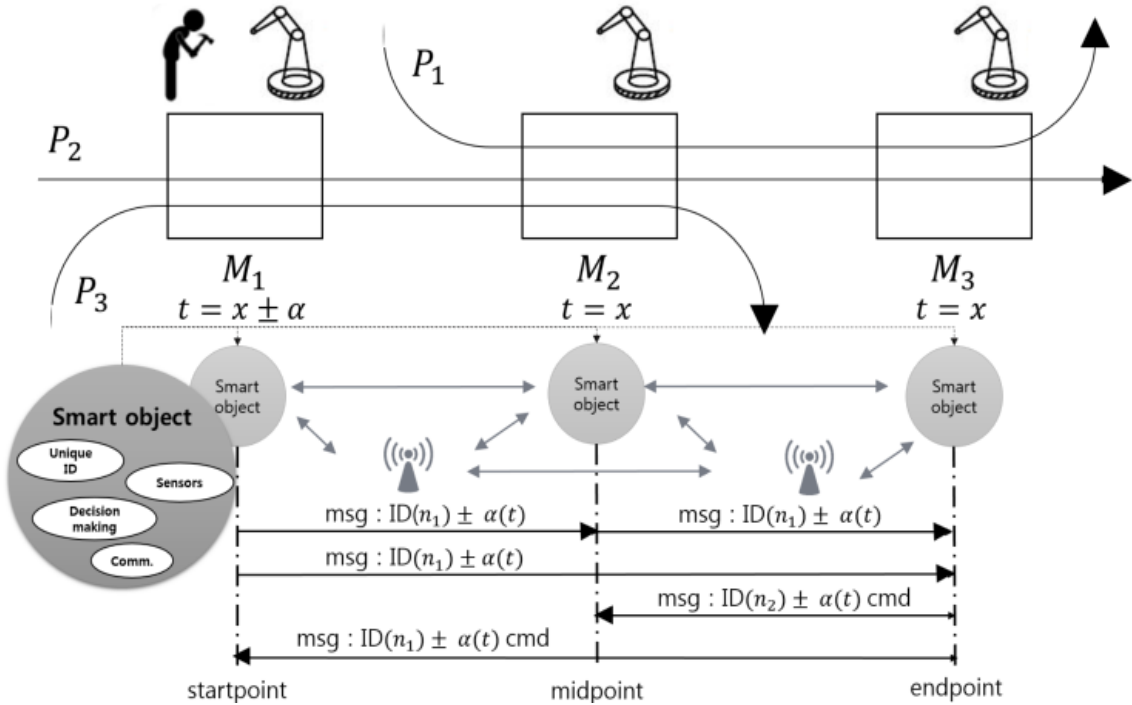


Fig. 4 Dynamic reconfiguration using message broadcast method

그림 3은 사람의 개입으로 변경된 모델이다. 부품 제조 시간이 미리 프로그래밍 되어 동일한 M_2 , M_3 외에 M_1 에는 사람이 개입함으로써 제조 시간이 $\pm \alpha$ 만큼 달라질 수 있는 상황이다.

이와 같은 경우에는 M_2 , M_3 에 대기 또는 공백 시간이 발생하게 되어 생산 환경은 동적 재구성이 되므로 그에 따른 시간 조절이 필요하다.

3.3. 메시지 브로드캐스트 기법

사람이 개입된 기계에서 부품 제조 시간에 대한 오차가 발생할 경우, 생산 환경은 동적으로 재구성되므로 이에 따라 교착상태가 발생할 수 있다. 본 절에서는 이에 따라 발생하는 교착상태를 방지하기 위해 메시지 브로드캐스트 기법을 제안한다.

그림 4는 동적 재구성되는 상황에서 메시지 브로드캐스트 기법을 이용하여 교착상태를 방지하는 그림이다.

사람이 개입한 기계(M_1 :startpoint)에서 제조 시간이

$\pm \alpha$ 만큼 발생할 경우 최종적으로 부품이 수집되는 마지막 기계(M_3 :endpoint)로 자신의 정보를 메시지를 통해 전달한다.

이 때 전달되는 정보는 자신의 정보인 unique ID, $\pm \alpha$ 시간, endpoint ID이다. 전달할 때에는 브로드캐스트로써 주변의 기계들에게 전달하게 되는데 이러한 이유는 하나의 생산 라인뿐만 아니라 주변의 모든 생산 라인에도 영향을 끼칠 수 있기 때문이다. 이 때 필요한 것은 무선 네트워크가 지원되는 스마트 오브젝트이다.

스마트 오브젝트는 startpoint에서 endpoint로 메시지를 전달하는 역할 뿐만 아니라 현재의 상황을 인식하여 사전검증, 실시간 관리, 사후분석을 처리하는 CPS의 밑바탕이 된다. Endpoint는 startpoint의 $\pm \alpha$, ID 정보를 토대로 midpoint와 startpoint에 명령(command) 메시지를 전달한다. 이에 해당하는 명령으로는 wait(), hasten()으로써, M_1 의 $\pm \alpha$ 시간을 토대로 M_2 의 대기 시간을 조절한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 동적으로 재구성되는 제조 방식에서 교착상태를 방지하기 위한 메시지 브로드캐스트 기법을 제안하였다. 생산 환경이 동적으로 재구성될 시스템 오브젝트를 통해 메시지를 브로드캐스트로 전달하고 endpoint는 자율적인 의사결정을 통해 주변 스마트 오브젝트로 명령을 전달한다.

이는 현재 대두되고 있는 CPS를 실현할 수 있도록 물리적 세계에서 얻은 정보들을 가상의 세계로 반영할 수 있는 기반을 다져보는 연구이다.

향후 연구과제로는 다수의 스마트 오브젝트를 통해 동적으로 재구성되는 시스템을 구현하며, 브로드캐스트를 통해 서로 간에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

The present Research has been conducted by the Graduate Research Project of KOREATECH in 2016.

REFERENCES

- [1] D. Zuehlke, "SmartFactory-Towards a Factory-of-thing," *Annual Reviews in Control*, vol. 34, no. 1, pp. 129-138, Apr. 2010.
- [2] A.S Oh, "Smart Factory Logistics Management System Using House Interior Position Tracking Technology Based on Bluetooth Beacon," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 11, pp. 2677-2682, Nov. 2015.
- [3] M. Taisch, B. Stahl and G. Tavola, "ICT in Manufacturing: Trends and Challenges for 2020 - an European View," *Industrial Informatics (INDIN), 2012 10th IEEE International Conference on*, pp. 941-946, Sep. 2012.
- [4] J. Barbosa, P. Leitão, D. Trentesaux, A. W. Colombo and S. Karnouskos, "Cross Benefits from Cyber-Physical Systems and Intelligent Products for Future Smart Industries," *14textsuperscriptth IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN 2016*, pp. 290- 306, Jul. 2016.
- [5] P. Leitao, S. Karnouskos, L. Ribeiro, J. Lee, T. Strasser, A. W. Colombo, "Smart Agents in Industrial Cyber-Physical Systems," *Proceeding of the IEEE*, vol. 104. no. 5, pp. 1086-1101, Mar. 2016.
- [6] P. Leitao, "Agent-based Distributed Manufacturing Control: A state-of-the-art survey", *Engineering Application of Artificial Intelligence*, vol. 22, no. 7, pp. 979-991 8. Oct. 2009.
- [7] J. M. Park, "Technology and Issue on Embodiment of Smart Factory in Small-Medium Manufacturing Business," *The Journal of The Korean Institute of Communication Science*, vol. 40, no. 12, pp. 2491-2502, Dec. 2015.
- [8] M. Qiu and E. H.-M. Sha, "Energy-aware Online Algorithm to Satisfy Sampling Rates with Guaranteed Probability for Sensor Applications," *Proceedings of the High Performance Computing and Communications*, vol. 4782, pp. 156-167, Sep. 2007.
- [9] F. Tao, Y. Zuo, L.D. Xu and L. Zhang, "IoT based Intelligent Perception and Access of Manufacturing Resource Towards Cloud Manufacturing," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1547-1557, May 2014.
- [10] Q. Liu, J. Wan and K. Zhou, "Cloud Manufacturing Service System for Industrial-cluster-oriented Application," *Journal of Internet Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 373 - 380, May 2014.
- [11] F. Soliman and M.A. Youssef, "Internet-based E-commerce and Its Impact on Manufacturing and Business Operations," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 103, no. 8, pp. 546-552, 2003.
- [12] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li and C. Zhang, "Towards Smart Factory for Industry 4.0: A Self-organized Multi-agent System with Big Data based Feedback and Coordination," *Industrial Technologies and Applications for the Internet of Things*, vol. 101, pp. 158-168, Jun. 2016.
- [13] Z. D. Han, G. B. Lee, "Application of Petri nets for deadlock analysis and avoidance in flexible manufacturing systems," *Int J. Adv. Manu. Tech.*, vol. 25, pp. 735-742. Nov. 2005
- [14] M. Uzam and M. C. Zhou, "An Iterative Synthesis Approach to Petri net-based deadlock prevention Policy for Flexible manufacturing System," *IEEE Transactions on System*, vol. 37, no. 3, pp. 362-371. May 2007.



신현준(Hyun-Jun Shin)

2013년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 박사과정
2013년 2월 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 공학석사
2011년 2월 남서울대학교 전자공학과 공학사
※관심분야 : 산업 4.0, 스마트 공장, Cyber-Physical System, Wireless Sensor N/W, Wireless localization, Channel coding



김성진(Sung-Jin Kim)

2016년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 석사과정
2016년 2월 나사렛대학교 정보통신학과 공학사
※관심분야 : 산업 4.0, 스마트 공장, 상황인지, Internet of Thing, Cyber-Physical System



오창헌(Chang-Heon Oh)

1999년 2월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수
2006년 8월 ~ 2007년 7월 방문교수(University of Wisconsin-Madison)
1993년 10월 ~ 1999년 2월 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원
1990년 2월 ~ 1993년 8월 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원
1996년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학박사
1990년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학석사
1988년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과 공학사
※관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR