

생산라인에 적용을 위한 무선 센서 네트워크 라우팅방식 및 고장노드 검출에 대한 연구

A Study on the Wireless Sensor Network Routing Method and Fault Node Detection for Production Line

박 정 현*, 서 창 준*

Jeong - Hyeon Park*, Chang-Jun Seo*

Abstract

IIoT applies IoT to industrial sites to monitor factors such as production, manufacturing, and safety, and it is a solution that allows the worker to easily manage the site. An important technology element in this IIoT is a technology that collects information on industrial sites and delivers reliable information to managers using sensors. Therefore, general industrial sites use wired network methods such as Ethernet and RS485 to deliver information. However, there are limitations to the problem of infrastructure costs and to the wide range of line constructions in network deployment. Therefore, in this paper, the network of IEEE 802.15.4 Ad-Hoc wireless sensors is deployed on production lines with machine tools. In addition, we describe the routing method considering machine tool layout and sensor node failure detection algorithm.

요 약

IIoT는 IoT를 산업현장에 적용하여 생산, 제조, 안전 등의 요소를 모니터링하며, 작업자가 쉽게 현장을 관리하게 해주는 솔루션이다. 이러한 IIoT에서 중요한 기술요소는 센서를 이용하여 산업현장의 정보수집과 관리자에게 신뢰성 있는 정보를 전달하는 기술이 요구된다. 따라서 일반적인 산업현장에는 Ethernet과 RS485 등의 유선 네트워크 방식을 이용해 정보를 전달한다. 하지만 네트워크 구축에 있어 기반비용의 문제와 넓은 범위의 회선구축에 있어 한계가 존재한다. 따라서 본 논문에서는 공작기계가 준비해있는 생산라인에 IEEE 802.15.4 Ad-Hoc 무선 센서 네트워크를 구축한다. 또한 공작기계의 배치형태를 고려한 라우팅 방식과 센서노드 고장을 감지하는 알고리즘을 설명한다.

Key words : IoT, IIoT, WSN, IEEE 802.15.4, Production Line, Ad-Hoc

* Dept. of Mechanical Engineering, Inje University

★ Corresponding author

E-mail : elecscj@inje.ac.kr, Tel: +82-55-320-3438

※ Acknowledgment

This research was supported by The Leading Human Resource Training Program of Regional Neo industry through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future Planning(grant number) (NRF-2016H1D5A1911140)

Manuscript received Dec. 7, 2018; revised Dec. 20, 2018; accepted Dec. 21, 2018

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

기존의 IoT 기술을 산업현장에 적용한 IIoT는 네트워크 기반에서 기계와 제품, 생산과정과 서비스에 지능을 부여하여 자율적으로 통신 및 제어가 가능하고 인간은 생산 공정과 공급체인의 흐름을 시각적으로 확인할 수 있도록 하는 환경을 말한다[1]. 이러한 환경을 구축하기 위해서 IIoT는 산업현장의 상태를 실시간으로 수집하고 신뢰성 있게 송신하는 센서 네트워크 기술을 갖추어야 한다. 대다수의 산업현장에서 사용하는 네트워크는 Ethernet, CAN, RS485 등의 유선 네트워크를 일반적으로 사용한다. 이는 네트워크의 신뢰성은 높으나 네트워크 구축비용이 많이 발생하고 복잡성 증가뿐만 아니라[2] 네트워크 구성이 유연하지 못해 수정 및 변경이 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 생산라인의 모니터링을 위해 일반적으로 사용되는 유선 네트워크의 문제점을 IEEE 802.15.4 표준 Ad-Hoc 무선 네트워크를 구축하여 해결하고자 한다. 무선 센서 네트워크는 다수의 센서노드와 하나의 싱크노드로 구성되며 공정 모니터링 어플리케이션, 머신 상태 모니터링 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다[3]. 또한 토폴로지가 유연하고 저비용, 저전력, 넓은 범위에 네트워크 구축이 가능하며 생산라인 및 유선 네트워크가 가지는 문제점을 해결할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 생산라인에서 사용할 수 있는 네트워크 구조를 제안한다. 또한 하나의 무선 센서노드에 멀티노드 라우팅을 통해 고장이 발생한 센서노드를 감지하는 알고리즘을 제안한다.

II. 무선 센서 네트워크 구축

1. Target Field 특징분석

dk무선 센서 네트워크를 구축하기 위해서는 먼저 네트워크가 구축될 target field의 특징 분석이 필요하다. 그 특징에는 센서노드의 배치거리, 전송거리, 외부 전원의 공급 여부 등이 있다. 센서노드 간의 거리를 적절하게 배치하고 음영지역이 생기지 않게 네트워크의 연결성을 확보해야한다. 또한 센서노드에 지속적으로 전원을 공급할 수 있는 구조일 경우 제한된 에너지를 가지는 센서노드에 비해 효율성은 덜 중요시된다. 또한 생산라인의 모니

터링을 위해 센서노드로부터 데이터를 수집하는 특징상 신뢰성이 높은 데이터의 전송이 크게 중요시된다[4]. 다음 그림 1은 본 논문에서 네트워크 target field가 되는 실제 생산라인의 layout이다. 공작기계들이 2m 간격으로 배치되어 있는 45m x 25m 크기의 target field 이다.

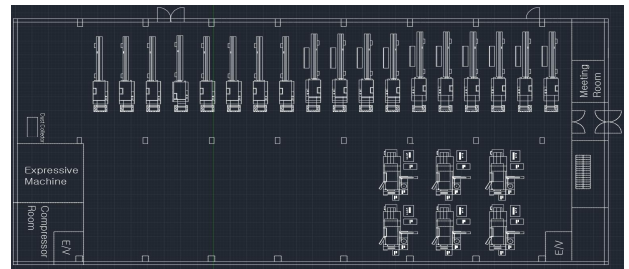


Fig. 1. Network target field.
그림 1. 네트워크 target field

본 연구에서의 무선 센서 네트워크 target field의 특징으로는 18대의 공작기계가 line 형태의 구조로 배치되어 있다. 또한 공작기계의 배치간격 등을 고려했을 때, 각 공작기계가 센서노드가 되는 구조를 취할 수 있다. 그리고 무선 센서노드들은 공작기계로부터 전원을 공급받을 수 있기 때문에 에너지 효율성보단 신뢰성 있는 데이터 수집 및 전송에 초점을 맞춰야 한다.

2. 무선 센서 네트워크 매니지먼트 보드



Fig. 2. Management board connected to machine tool PMC.
그림 2. 공작기계 PMC와 연결된 매니지먼트 보드

무선 센서 네트워크를 구축하기 위해 다음 그림 2와 같이 무선 센서 네트워크 매니지먼트 보드를 공장기계 PMC와 연결한 모습이다.

기능은 Ethernet 포트를 이용하여 공장기계의 상태정보를 수집한다. 또한 무선 센서 네트워크 디바이스를 장착하고 무선 네트워크 라우팅 관리가 주 기능이다. 다음 표 1은 무선 센서 네트워크 매니지먼트 보드의 사양이다.

Table 1. System Specification of WSN management board.
표 1. 무선 센서 네트워크 매니지먼트 보드 사양

Core	ARM 32-bit Cortex-M3 STM32F767ZIT6, LQFP144
Debugger/Programmer	ST-LINK/V2-1
Input Voltage	BA05T, Max. 24V
Ethernet	10/100 Ethernet RJ45
WSN Device	Firmtech, FZ760BZ Embedded Module
Wireless standard	IEEE 802.15.4 MAC
Wireless device	FZ760BC, Firmtech Co., Ltd.
Communication distance	>120m
Frequency Range	2.4GHz ISM Band

3. 무선 센서 네트워크 구조

본 target filed에서 사용할 수 있는 무선 센서 네트워크 구조는 다음 그림 3과 같다. 공장기계가 line 형태로 배치되어 있으며, 따라서 무선 센서 네트워크 구조 또한 line 형태로 구축 한다. 각 공장 기계에 하나의 센서노드 및 매니지먼트 보드가 설치된다. 무선 센서 네트워크 구조에서 Start Node 는 일정 주기마다 화살표 방향의 다음 노드로 패킷을 송신하여 전체 네트워크의 전송주기를 결정한다. 중간노드는 자신의 패킷 및 이전 노드로부터 수신 받은 패킷을 다음 노드로 송신하는 역할을 한다.

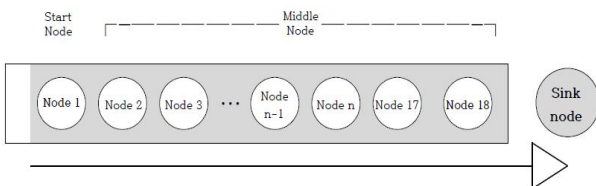


Fig. 3. Placement of sensor nodes and direction of data transfer.

그림 3. 센서노드의 배치 및 데이터의 전달방향

III. 무선 센서 네트워크 멀티노드 라우팅 기법

그림 3의 무선 네트워크 구조를 바탕으로 line 형태의 단일경로 토큰링 프로토콜 형태의 통신이 이루어진다. 이 경우 단일경로를 통한 순차적으로 센서노드의 라우팅이 이루어지며 이 방식의 신뢰성에 대한 이전 연구가 진행 되었다[5]. 하지만 이전 연구에서는 신뢰성은 확보할 수 있으나 라인형태의 단일경로 특성상 하나의 노드에 문제가 발생하여 통신이 불가능할 경우 전체 네트워크 연결이 끊어지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 네트워크 연결성을 유지하는 Ad-Hoc 네트워크 기반의 멀티노드 라우팅 기법을 제안한다. 또한 네트워크 경로상의 임의의 노드에 문제가 발생할 경우 그 노드를 찾아내는 알고리즘을 제시한다.

1. 정상상태 멀티노드 라우팅

다음 그림 4는 Node 1을 시작으로 Node 18로 이어지는 정상상태의 멀티노드 라우팅을 보여준다. p_n 은 각 노드가 생성하는 패킷이며, T_s 는 transmission period이다.

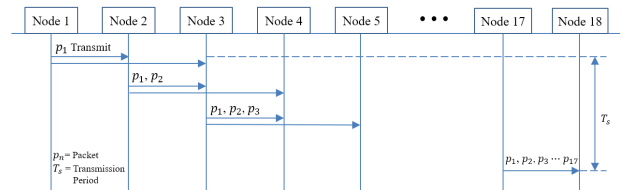


Fig. 4. normal state multi-node routing.

그림 4. 정상상태 멀티노드 라우팅

```

Sensor Node n routing

INPUT: Node x packet
IF(x = n - 1) THEN
    pn-1 ← Node x packet
    pn ← pn + pn-1
    transmit pn to Node n + 1 and Node n + 2
END IF
ELSE IF(x = n - 2) THEN
    pn-2 ← Node x packet
    buff ← pn-2
END ELSE IF
    
```

Fig. 5. Algorithm of normal state multi-node routing.

그림 5. 정상상태 멀티노드 라우팅 알고리즘

Node 1은 자신의 패킷 p_1 을 Node 2와 3으로 멀티노드로 라우팅 한다. Node 2는 경로상의 1홉 이전의 노드로부터 패킷 p_1 을 수신하면 자신의 패킷 p_2 과 한 프레임에 합하여 Node 3과 4로 송신한다. Node 18은 Node 16과 17로부터 패킷을 수신하며 받은 패킷은 Sink Node로 송신한다. 다음 그림 5는 정상상태 멀티노드 라우팅 알고리즘을 나타낸다.

2. 고장상태 멀티노드 라우팅

공작기계에 부착된 센서노드가 네트워크에 연결하지 못하는 등의 고장이 발생할 경우 멀티노드 라우팅의 특성으로 인하여 네트워크 라우팅 경로가 유지될 수 있다. 다음 그림 6은 네트워크 라우팅 경로 중 Node 2가 고장 난 경우 멀티노드 라우팅을 통하여 네트워크 연결성이 유지되는 그림을 나타낸다.

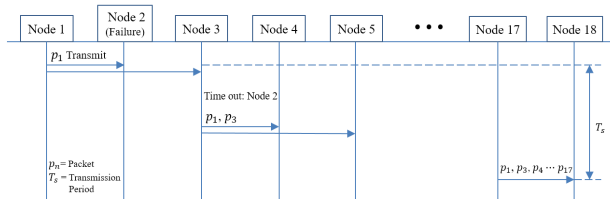


Fig. 6. Fault state multi-node routing.
그림 6. 고장상태 멀티노드 라우팅

```

Sensor Node n routing

INPUT: Node x packet
IF(x = n-1) THEN
    pn-1 ← node x packet
    pn ← pn + pn-1
    transmit pn to Node n+1 and Node n+2
END IF
ELSE IF(x = n-2) THEN
    pn-2 ← node x packet
    buff ← pn-2
END ELSE IF
ELSE IF (Time out) THEN
    pn ← pn + buff
    transmit pn to Node n+1 and Node N+2
ENS ELSE IF
    
```

Fig. 7. Algorithm of normal fault multi-node routing.
그림 7. 고장상태 멀티노드 라우팅

Node 1은 Node 2와 3으로 멀티노드로 라우팅 한다. 이때 Node 2의 고장으로 Node 3과 4로 라우팅을 할 수 없을 경우. Node 3은 Node 2의 패킷이 일정시간 동안 도착하지 않으면 Time Out이 발생하며 Node 1로부터 받은 패킷을 Node 4와 5로 송신한다. 이로써 Node 18에는 Node 2의 데이터를 제외한 나머지 데이터를 수신함으로써 Node 2의 이상상태를 확인할 수 있다. 그림 7은 정상상태 멀티노드 라우팅 알고리즘을 나타낸다.

3. 고장상태 멀티노드 라우팅 결과

다음 그림8은 Sink Node에서 수신한 패킷의 횟수와 네트워크에 참여한 센서노드를 나타내는 데이터이다.

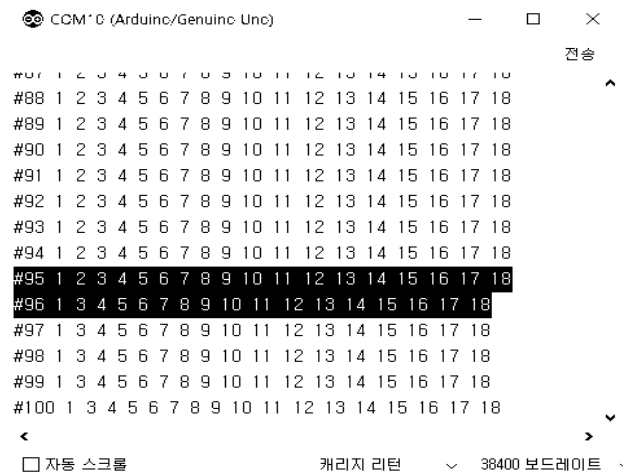


Fig. 8. Detection of fault state nodes.
그림 8. 고장상태 노드의 검출

그림 8에서 보듯이 #95회까지는 1~18번 센서노드가 네트워크에 참여함을 확인할 수 있다. 하지만 #96회부터 Sensor Node 2가 고장으로 네트워크에 참여하지 못함을 확인할 수 있다. 그러나 멀티노드 라우팅의 특성상 나머지 센서노드는 정상적으로 Sink Node로 송신함을 확인할 수 있다. 이를 통해 Sink Node 및 현장의 작업자는 Node 2가 네트워크에 참여할 수 없으므로 이상상태를 감지하여 조치를 취할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 산업현장 중에서도 다수의 공작기계가

배치되어있는 생산라인에서 유선 네트워크를 대신하여 적용할 수 있는 무선 네트워크 라우팅 방식에 대한 연구이다.

먼저 네트워크 target field 인 실제 생산라인의 특징을 분석하여 라인형 네트워크 구조를 선정했다. 또한 기존 유선 네트워크의 단점으로 인해 발생하는 문제점을 해결하기 위해 IEEE 802.15.4 표준 Ad-Hoc 무선 센서 네트워크를 적용 했다.

실제 라인형 네트워크를 구축하고 단일경로로 네트워크를 운용할 경우 하나의 센서노드가 이상이 발생하면 전체 네트워크가 단절되나 본 논문에서 제안한 방식으로 해결할 수 있다. 또한 기존의 무선 센서 네트워크에서 많이 사용되는 Ad-Hoc 네트워크를 구현해 플러딩 방식이나 mesh 또는 tree 형태의 네트워크를 구현할 경우 높은 네트워크 리소스로 인해 방송폭풍이나 큐잉지연이 발생해 센서 노드의 고장이 즉각적으로 발견되기 어렵다. 라인형태의 순차적인 라우팅 방식으로 인해 이러한 문제점을 해결했다. 따라서 실제 산업현장에서 사용할 수 있는 무선 네트워크 라우팅 방식임을 결론 지을 수 있다.

References

- [1] Y. S. Choi, "Industrial internet of things market forecast and technology trend," *The Magazine of The IEEE*, vol.44, no.5, pp.43-49, 2017.
- [2] S. H. Han, C. S. No, and S. J. Park, "Ubiquitous-based Information Technology and Wireless Network Technology Trend," *j.inst. Korean.Society of machine tool engineers*, vol. 14, no.2, pp.27-33, 2005.
- [3] S. A. Kim, and S. H. Chung, "A Traffic and Link Quality Based Congestion Control Scheme for Reliable Sensing Data Delivery in Wireless Sensor Networks," *Journal of KISS: Information Networking*, vol.41, no.4, pp.177-185, 2014.
- [4] H. S. Choi, Y. S. Shin, and S. M. Park, "An approach to designing routing protocol for wireless sensor network," *Korea Information Science Society*, vol.32, no.2, pp.442-444, 2005.
- [5] J. H. Park, C. J. Seo, "IEEE 802.15.4 Ad-Hoc

Wireless Sensor Network Routing Method Applying EtherCAT Communication Method," *j.inst.Korean.electr.electron.eng*, vol.22, no.2, pp.289-301, 2018.
DOI:http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.2.289

BIOGRAPHY

Jeong-Hyeon Park (Member)



2016 : BS degree in Electrical Engineering, Inje University.
2016~2018 : MS degree in Electronic & Telecommunication Engineering, Inje University
2018~present : Currently for MS degree in Mechincal Engineering, Inje University

Chang-Jun Seo (Member)



1989 : BS degree in Electrical Engineering, Kyungpook University.
1991 : MS degree in Electrical and Electronic Engineering, KAIST.
1996 : PhD degree in Electrical and Electronic Engineering, KAIST.

1996~present : Professor, Dept. of Electronic & Telecommunication Engineering, High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje University.