

논문 2020-15-10

레이저 장비의 전송 경로 자가 교정을 위한 무선 네트워크 시스템

(Wireless Networked System for Transmission Path Self-Calibration of Laser Equipment)

이 준 영, 유 성 은*
(Junyoung Lee, Seong-eun Yoo)

Abstract : IIoT stands for Industrial Internet of Things used in manufacturing, healthcare, and transportation in networked smart factories. Recently, IIoT's environment requires an automated control system through intelligent cognition to improve efficiency. In particular, IIoT can be applied to automatic calibration of production equipment for improved management in industrial environments. Such automation systems require a wireless network for transmitting industrial data. Self-calibration systems in laser transmission paths using wireless networks can save resources and improve production quality by real-time monitoring and remote control of laser transmission path. In this paper, we propose a wireless networked system for self-calibration of laser equipment that requires a laser transmission path, and we show the results of the prototype evaluation. The self-calibration system of laser equipment measures the coordinates of the laser points with sensors and sends them to the host using the proposed application protocol. We propose a wireless network service for the wired motor controller to align the laser coordinates. Using this wireless network, the host controls the motor by sending a control command of the motor controller in an HTTP message based on the received coordinate values. Finally, we build a prototype system of the proposed design to verify the detection performance and analyze the network performance.

Keywords : IIoT, Industry, Network, Sensing, Automation

1. 서 론

사물인터넷(Internet of Things, IoT)이란, 지능화된 사물들이 네트워크를 통해 연결되는 것을 말한다. 텍사스 인스트루먼트(Texas Instruments)에서는 IoT를 감지, 제어, 프로그래밍할 수 있는 지능적이고 보이지 않는 네트워크망을 만들어 직접 또는 간접적으로 통신할 수 있도록 하는 것이라고 정

의하였다 [1].

IoT는 일상생활만이 아니라 공장과 같은 특수한 환경에서도 적용이 된다 [2, 3]. IIoT (Industrial Internet of Things)는 네트워크화된 스마트 공장에서 제조 및 의료, 운송에 사용되는 산업용 사물인터넷을 의미한다 [4]. IIoT는 산업 환경에서 이전에 사람이 수행하던 많은 것들을 전기장비로 대체하는데 필수적인 기술이라고 할 수 있다. IIoT의 산업용 프로세서들은 센싱, 식별, 처리, 통신, 분석 및 네트워킹 기능을 갖추고 있어 생산 장비 및 공정을 원격으로 모니터링 및 제어가 가능함으로 생산 관리 효율성을 향상시킨다 [5].

최근 IIoT의 환경에서는 효율성을 향상시키기 위해서 지능형 인지를 통한 자동화 제어 시스템을 요구한다. 이러한 자동화 시스템은 자가 분석 및 지능형 제어를 위한 산업용 센싱 데이터 및 제어 명

*Corresponding Author (seyoo@daegu.ac.kr)

Received: Feb. 28, 2020, Revised: Mar. 23, 2020,

Accepted: Mar. 28, 2020.

J. Lee: Daegu University (Master)

S. Yoo: Daegu University (Assoc. Prof.)

※ 이 논문은 2016학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 연구결과임.

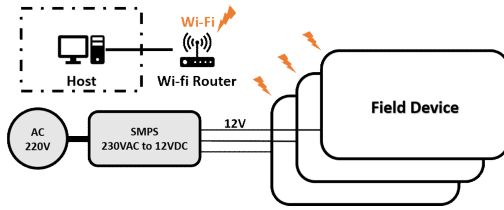


그림 1. 전체 시스템 구조

Fig. 1 Overall system structure

령어를 전송할 수 있는 효율적인 네트워크를 필요로 한다 [6]. 이러한 산업 네트워크는 생산량의 향상과 최적화된 의사결정을 위해서 실시간으로 정보를 수집하고 모니터링을 할 수 있어야 한다 [7].

이러한 IIoT는 레이저 절단기 [8]를 사용하는 산업 환경에서 레이저의 자가 교정을 수행하는 시스템에서도 활용될 수 있다. 레이저 절단기의 레이저 초점은 생산품의 품질을 결정할 정도로 중요한 요소이다. 레이저 초점은 정확하게 가운데에 위치하는 것이 이상적이다. 산업 환경에서 요구되는 레이저 초점의 정확도는 50 μ m 미만의 오차이다. 하지만 주변의 환경적인 요소 또는 사용자의 부주의로 레이저의 초점이 움직이는 경우가 발생한다. 현재는 레이저의 초점이 이동된 경우에는 전문가가 직접 초점을 수정하기 위해 현장에 이동하여 교정 작업을 수행해야 한다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 레이저 전송 경로의 자가 교정을 위한 무선 네트워크 설계를 제안한다. 그리고 이를 레이저 절단기의 시스템에 적용하고 프로토타입 시스템을 개발하여 센싱 정확도 및 센싱 데이터 전송 능력을 검증하였다. 프로토타입은 센싱한 레이저의 전송 좌표의 아날로그를 디지털로 변환 후 무선으로 전송하는 모델로 구성된다. 제안된 레이저 시스템을 설명하기 위해 2장에서 하드웨어 및 네트워크를 설명하고 3장에서 프로토타입의 테스트를 통해 성능을 보인다. 마지막 4장에서는 요약 및 향후 연구를 제시함으로써 결론을 맺는다.

II. 본 론

제안된 전체 시스템은 호스트와 필드 디바이스로 구성되어 있다. 필드 디바이스는 레이저의 전송 좌표의 센싱 및 제어를 담당한다. 호스트는 센싱 데이터 분석 및 필드 디바이스 관리를 수행할 수 있다. 본 장은 전체 시스템을 먼저 살펴보고 필드 디바이스와 네트워크 중심으로 제안된 시스템을 설명한다.

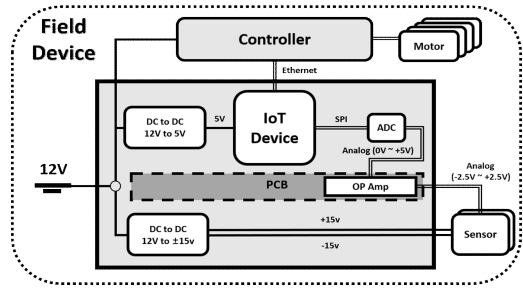


그림 2. 필드 디바이스 구조

Fig. 2 Field device structure

1. 전체 시스템

그림 1은 전체 시스템 구조를 나타낸다. 호스트는 Wi-Fi 라우터로 연결되어 각 필드 디바이스와 통신한다. 호스트와 동일한 코틀 네트워크에 연결된 필드 디바이스는 각 12V로 전원을 공급을 받고 통신은 Wi-Fi를 사용하여 센싱 및 제어 데이터를 송수신한다. 필드 디바이스는 레이저의 경로를 수정하기 위해서 각 전송 경로에 배치된다.

그림 2는 필드 디바이스 구조를 나타낸다. 필드 디바이스는 IoT 디바이스와 ADC를 기반으로 전원부와 OP Amp, 센서, 컨트롤러 및 모터를 포함한다. 하나의 필드 디바이스는 최대 2개의 PSD (Position Sensitive Detector) 센서의 센싱 값을 입력받고 컨트롤러를 통해 최대 4개의 모터를 제어한다. 호스트는 필드 디바이스로부터 센싱 값을 수신해 처리하고 컨트롤러에 모터 제어 명령을 전달한다.

2. 필드 디바이스

자가 교정 시스템의 필드 디바이스를 구성하는 방법 중 하나는 오픈 하드웨어 플랫폼을 사용하는 것이다. 오픈 하드웨어 플랫폼 (Open Source Platform: OSHW)이란 설계와 디자인을 공유한 하드웨어 플랫폼을 지칭한다 [9]. 그중, 라즈베리파이 (Raspberry Pi) 모델은 ARM 기반의 싱글 보드 컴퓨터로 높은 성능을 보인다. 네트워크 측면에서는 라즈베리파이는 버전 3부터 Wi-Fi 및 Bluetooth가 내장되어 있어 다른 보드에 비해 강력한 네트워크 성능을 가지고 있다. 그뿐만 아니라 성능 대비 저렴한 가격으로 국내에서 구할 수 있다 [10].

본 논문에서는 레이저의 초점 위치를 검출하기 위해 PSD 센서를 사용한다. 특히, DL100-7 모델은 10mm×10mm의 활성 영역 (Active area)으로 알려진 수광 면적을 가지고 있어 넓은 범위를 측정할 수 있다 [11].

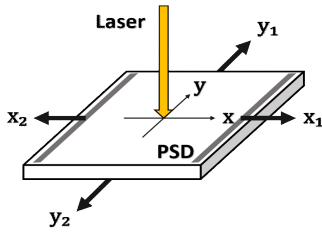


그림 3. PSD 센서
Fig. 3 PSD sensor

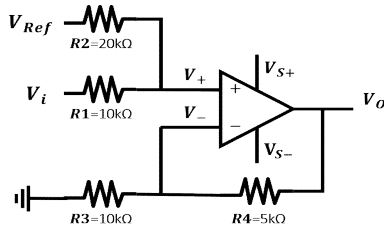


그림 4. OP Amp 회로도
Fig. 4 OP Amp schematic

그림 3 [12]는 DL100-7 모델의 PSD 구조를 간략하게 나타낸다. PSD 센서는 빛이 포토다이오드에 충돌함에 따라 전류를 생성하고 전극은 전류를 수집한다. DL100-7 센서는 앞면에 x축 2개, 뒷면에 y축 2개의 총 4개의 전극에서 입사된 레이저의 위치에 따라 전류 값 x_1 , x_2 과 y_1 , y_2 를 출력한다.

PSD에서 출력된 아날로그 신호를 디지털로 변경하기 위해서 ADC를 사용한다. ADC는 데이터 처리를 위해 아날로그 전기 신호를 이산 디지털로 변환하는 전자 회로로 ADC에서는 분해능을 변환된 디지털 신호의 비트 수로 표현하고 초당 수집하는 샘플의 개수는 SPS (Samples Per Second)로 표현한다. 초당 샘플링의 수가 많을수록 더 빠르게 변화하는 신호를 해석할 수 있다. 원격 레이저 교정 시스템에서 요구되는 정확도는 $50\mu\text{m}$ 로 매우 정밀하기 때문에 높은 비트의 정밀도를 요구한다.

본 논문에서 사용된 High-Precision AD/DA Board [13]는 라즈베리 파이에 ADC 기능과 DAC 기능을 사용하도록 하는 확장 보드이다. 이 보드는 ADS1256 칩을 사용하여 8채널에서 24비트의 높은 정밀도를 가진다. 또한, ADS 칩은 SPI 인터페이스 통신을 사용해 30kbps의 빠른 샘플링 속도를 가지고 있다. High-Precision AD/DA Board는 Single-ended 방식으로 센서 출력을 OP Amp로

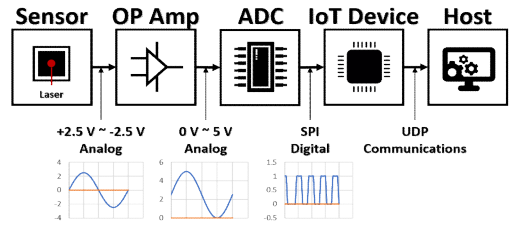


그림 5. 센서부 구조
Fig. 5 Sensor structure

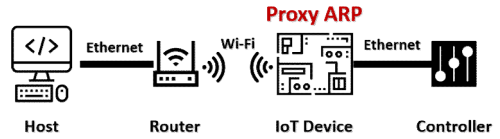


그림 6. 네트워크 모델
Fig. 6 Network model

변환해야 하는 문제점이 존재하지만 라즈베리 파이와 호환되는 제품군 중에 산업 현장에서 요구하는 빠른 샘플링과 정밀도를 가진다는 장점이 있다.

PSD 센서에서 출력되는 -2.5V 에서 2.5V 의 바이폴라의 아날로그 신호를 ADC가 읽을 수 있는 0V 에서 5V 의 값으로 변환하기 위해서 OP Amp가 사용된다. OP Amp는 연산 증폭기라고 불리고 + 입력과 - 입력에 인가된 전압의 차를 연산 증폭기의 자체 Gain 값만큼 증폭한 후 단일 신호로 출력한다. 본 논문에서 사용된 LM741 [14]은 다양한 용도에 적합한 범용 OP Amp로서 2개의 입력 단자와 1개의 출력 단자를 가진다.

수식 1 : 합산 증폭기 전달 함수

$$V_o = \left(V_i \frac{R2}{R1 + R2} + V_{ref} \frac{R1}{R1 + R2} \right) \times \left(1 + \frac{R4}{R3} \right) \quad (1)$$

2.5V 의 전압을 올리는 Gain 값을 도출하기 위한 수식은 수식 1과 같다. OP Amp의 입력은 $V_{Ref} = 5\text{V}$ 이고 V_i 는 -2.5V 에서 $+2.5\text{V}$ 의 신호이다. V_o 는 0V 에서 5V 로 상승된 신호를 출력한다. 저항은 총 4개로 R1, R2, R3, R4이다. 수식 1의 연산의 결과로 R1과 R2의 저항 비율은 $\frac{R2}{R1} = 2$, R3과 R4의

비율은 $\frac{R4}{R3} = \frac{1}{2}$ 이 도출된다. 그림 4는 계산된 Gain 값에 대한 저항을 구성한 회로도이다. 저항은 정밀도를 고려하여 1% 이하의 오차율을 가진 저항을

Message Type(1B)	Payload(Variable)					
	Option(1B)		NumOfSamples (1B)	Interval (2B)	Seq (1B)	
	Mode (msb:4bit)	Ch (lsb:4bit)				
0x20 (Sensing.Req)	Ox1: Single Ox2: Continuous OxE: Stop	Ox1: ch1 Ox2: ch2 Ox3: both	0x01~0x28	0x0000~0xFFFF	0x00~0xFF	

Message Type(1B)	Payload(Variable)										
	Option(1B)		NumOfSamples (1B)	Interval (2B)	Seq (1B)	Samples(0~20*2*12B)					
	Mode (msb:4bit)	Ch (lsb:4bit)				X1 (3B)	Y1 (3B)	X1S (3B)	Y1S (3B)	X2 (3B)	Y2 (3B)
0x21 (Sensing.Res)	Sensing.Req Copy information		0x01~0x28	0x0000 ~0xFFFF	0x00 ~0xFF						

그림 7. (상) 센싱 데이터 요청 메시지, (하) 센싱 데이터 응답 메시지

Fig. 7 (Up) Sensing data request message, (Down) Sensing data response message

사용한다.

그림 5는 센서부의 구조를 나타낸다. 센서부는 레이저의 좌표를 측정하고 데이터를 처리한다. Sensor에 Laser를 가하면 +2.5V에서 -2.5V의 아날로그 전압 출력이 나온다. 이 전압은 ADC가 읽을 수 있도록 OP Amp를 사용해서 2.5V의 오프셋 전압을 상승시킨다. 변환된 전압은 ADC에서 이진 신호로 변환되어 SPI 통신으로 IoT 디바이스로 전송된다. 호스트는 IoT 디바이스와 동일한 네트워크로 연결되어 UDP 통신으로 IoT 디바이스에서 읽어들인 데이터를 확인한다.

3. 네트워크

그림 6은 자가 교정을 위해 센싱 데이터를 수집하고 제어 명령을 전송하는 무선 네트워크 모델을 나타낸다. IoT 디바이스와 호스트는 라우터를 통해 무선 네트워크를 구성하여 센싱 데이터를 전송한다. 레이저 전송 경로를 교정하기 위해 사용된 Newport사의 8742 컨트롤러는 무선 네트워크를 지원하지 않고 유선 이더넷만 지원한다. 그러므로 무선 네트워크를 지원하기 위해서 컨트롤러를 IoT 디바이스에 유선으로 연결하여 IoT 디바이스에 Proxy ARP (Address Resolution Protocol) 서비스를 설정하여 동작시킨다. Proxy ARP는 호스트가 MAC 주소를 찾는 ARP 요청을 하면 라우터가 가지고 있는 ARP 테이블 또는 라우팅 테이블을 이용하여 Proxy ARP를 수행하는 라우터가 대신 응답하여 서브넷 효과를 발생한다. 컨트롤러의 제어는 TCP 통신으로 8742 컨트롤러에 내장된 HTTP 서

버를 통해 가능하다. 호스트에서 컨트롤러 제어하기 위해 HTTP 프로토콜로 URI를 GET 메시지에 실어 전송한다. 컨트롤러는 URI의 파라미터 명령을 수행하고 응답 메시지를 호스트로 전송한다 [15].

호스트와 IoT 디바이스간 통신은 수많은 센싱 데이터를 고속으로 전송하기 위해서 UDP 통신을 사용한다. 그림 7은 제안된 시스템에서 호스트와 IoT 디바이스간 통신하기 위한 어플리케이션 계층의 프로토콜 중 센싱 데이터를 요청하고 응답하는 메시지이다. Host는 각 IoT 디바이스에게 센싱 정보 요청 (Sensing.Req) 메시지를 전송한다. 이 메시지를 받은 IoT 디바이스는 응답 (Sensing.Res) 메시지를 생성하여 Host로 전송한다. 요청 메시지에서 Mode 필드는 한 번 (Single)의 응답을 요청할지, 연속적인 (Continuous) 응답을 요청할지, 그리고 연속적인 응답 중인 경우 응답을 종료 (Stop)할지를 결정한다. NumOfSamples 필드는 응답 메시지에 포함할 샘플의 수를 정의한다. Interval은 Continuous 모드에서 유효하며, Sensing.Res 메시지를 전송하는 간격으로 0.1s 단위로 0.1s~6553.5s 까지 지정할 수 있다. Seq는 Sequence Number를 사용해 Res 메시지의 중복 및 분실 확인 목적으로 한다. Single 모드에서 Res 메시지는 Req 메시지에 포함된 Seq와 동일한 Seq로 전송하고 Continuous 모드에서는 센싱 데이터 전송할 때마다 Seq를 1씩 증가한다. 만약, 최대 Seq를 초과하면 다시 0부터 시작한다.

IoT 디바이스는 호스트의 요청에 따라 Sample 필드에 센싱 데이터를 포함하여 Sensing.Res 메시

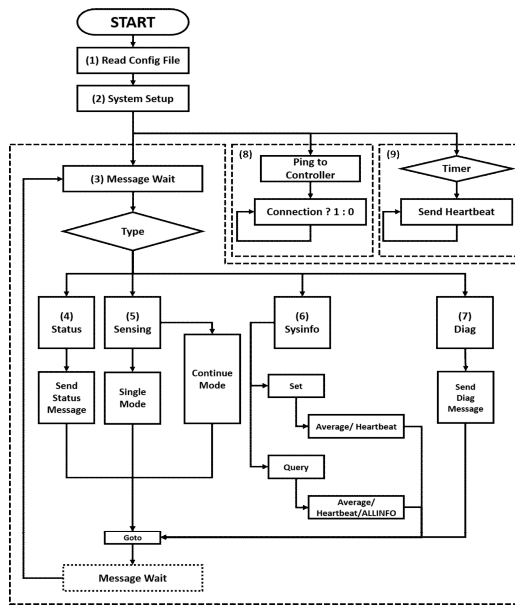


그림 8. 서버 프로그램 순서도
Fig. 8 Server program flowchart

지를 응답한다.

Sensing.Req를 수신한 후, IoT 디바이스는 실시간 샘플링 데이터를 전송하기 위해서 샘플링을 시작하여 응답한다. Stop 모드의 경우, IoT 디바이스는 Sample 필드 없이 응답 메시지를 전송하며, 이전에 Continuous 모드로 샘플 응답을 하던 프로세스를 종료한다.

Samples 필드는 PSD센서의 출력값을 의미하며 uV단위의 정수 값으로 표현되며 그 유효 범위는 0 부터 5,000,000이다. 예를 들어 2,500,000은 2,500,000uV, 즉, 2.5V를 의미한다. Sensing.Res 메시지는 Req 메시지에서 요청한 샘플 수 (NumOfSamples)만큼 샘플값을 payload에 순차적으로 포함한다.

필드 디바이스는 최대 2개의 PSD 센서에 대해 각각 ch1과 ch2의 채널을 가진다. Ch 필드가 both로 설정된 경우, 각 채널당 최대 20개의 샘플을 전송하며, ch1 혹은 ch2로 설정된 경우 해당 채널에 대한 샘플 데이터를 최대 40개의 샘플을 전송한다. 샘플의 크기는 3Byte 크기의 X축과 Y축에 대한 전압 차와 합인 값을 가지므로 총 12Byte이다. 그러므로 Sample 필드의 최대 크기는 480Byte의 크기를 가진다.

그림 8은 IoT 디바이스에서 동작하는 서버 프로그램의 동작 구조를 나타낸다. (1)에서 프로세스가

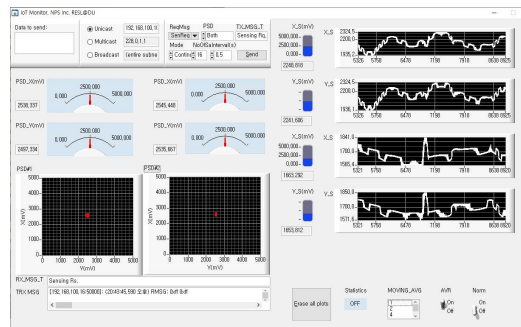


그림 9. 클라이언트 프로그램
Fig. 9 Client program

실행되면 기본 설정 파일을 읽어서 시스템을 설정한다. 그 후, (2)에서 서버와 ADC를 설정한다. 설정이 완료되면 서버로 동작하는 부모 프로세스와 부가 기능을 수행하는 자식 프로세스로 분할된다. (3)에서 서버 프로세스는 메시지를 기다리다가 메시지가 도착하면 메시지의 타입에 따라 상태 정보 전송 (4), 센싱 데이터 전송 (5), 시스템 정보 조회 및 수정 (6), 진단 (7)을 수행한다. 자식 프로세스는 컨트롤러와 연결을 테스트하는 프로세스 (8) 그리고 주기적으로 Host로 메시지를 전송하는 Heartbeat 프로세스 (9)로 동작한다.

서버의 동작에서 비정상적인 센싱 데이터와 노이즈의 영향을 최소화하기 위해서 여러 센싱 데이터를 이동 평균 (Moving average)을 하여 전송한다. 평균 기능은 (6)에서 설정이 가능하며 최대 128개의 데이터를 이동하여 하나의 센서 값을 도출한다. 호스트에서 서버의 동작을 확인하기 위해 첫 메시지 이후 호스트로 1Byte의 메시지를 전송한다. 호스트는 이 메시지를 통해 연결됨을 확인할 수 있다. 필드 디바이스와 컨트롤러의 연결의 상태 확인은 (6)에서 설정된 시간에 따라 주기적으로 Ping 요청 및 응답을 통해서 수행한다.

그림 9는 테스트에 사용한 클라이언트 프로그램이다. 프로그램은 National Instrument사의 LabWindows/CVI로 개발되었다. 호스트에서 동작하는 클라이언트 프로그램은 서버에 센싱 데이터를 요청하고 센싱 데이터를 그래프로 표시하는 기능을 수행한다. 좌측 상단은 서버의 주소와 메시지의 세부 내용을 설정하고 전송할 수 있다. 좌측 그래프들은 각 IoT 디바이스에 연결된 두 PSD 센서의 레이저 좌표 값을 표시한다. 좌측 하단에서 응답으로 받은 메시지를 확인할 수 있다. 우측은 PSD 센서의 값을 시간에 따라 그래프로 보여준다. 우측 하단은

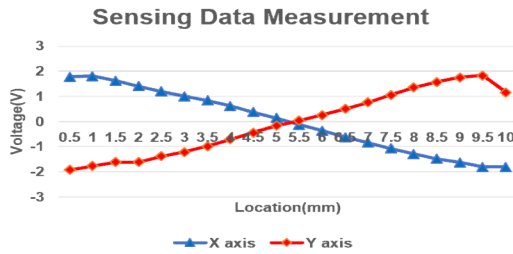


그림 10. 센싱 데이터 측정

Fig. 10 Sensing data measurement

추가적인 옵션으로 그래프 초기화, 세부 분석, 평균 등의 기능을 설정할 수 있다.

III. 프로토타입 테스트

본 장에서는 제작된 프로토타입의 호스트에서 수집한 센서의 데이터 선형성과 오차를 그리고 무선 인터페이스의 적합함을 나타낸다.

1. 레이저 측정 성능

그림 10은 ADC 모듈을 통해 변환된 최대 측정 범위를 나타내고 그림 11은 산업 환경에서 요구하는 최소 분해능에 대한 오차를 나타낸다. 그림 10은 센서의 선형성을 보기 위해서 수광 면적이 10mm×10mm인 DL100-7 PCBA3 모델에서 측정하였다. 측정은 레이저를 0.5mm 단위로 이동하면서 센싱 데이터를 측정하였다. 그림 10의 결과를 보면 수광 면적의 90% 이상의 범위에서 선형적인 값이 나오는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 이상적인 값에 대한 실제 측정의 오차를 확인하기 위해서 레이저의 좌표를 0.01mm 단위로 이동하여 측정하였다. 측정 결과로 X축은 7.3%, Y축은 9.4%의 오차율을 확인할 수 있다. 그리고 위 측정의 과정에서 PSD 센서의 오차는 주변 환경 변수 중 빛에 따라 민감하게 반응함을 확인할 수 있었다. 그러므로 환경적인 변수를 최소화하기 위해서 PSD 센서는 빛으로부터 보호되어야 한다.

2. 네트워크 성능

산업 환경에서 레이저 전송 경로의 자가 교정은 제한된 시간 안에 수행되어야 한다. 특히, 레이저 전송 경로의 미세한 조절을 위해서 컨트롤러의 반복적인 동작을 요구하는 자가 교정 시스템은 수많은 센싱 데이터의 전송을 필요로 한다. 그러므로 본

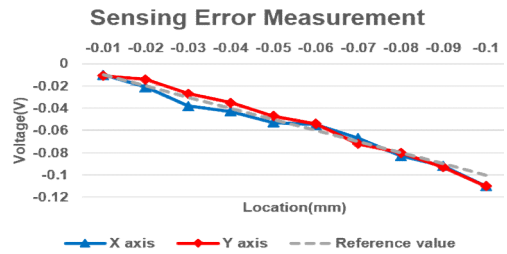


그림 11. 센싱 오차 측정

Fig. 11 Sensing error measurement

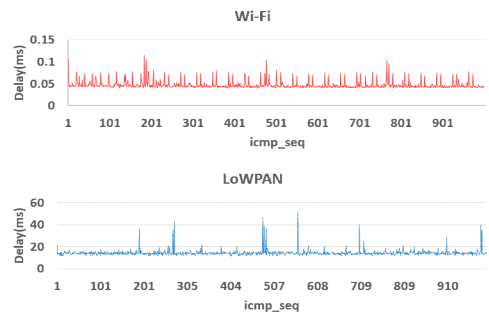


그림 12. 무선 인터페이스 성능

Fig. 12 Wireless interface performance

논문에서는 Wi-Fi와 스마트 공장에 사용되는 6LoWPAN의 딜레이를 측정하여 비교함으로써 제안된 시스템에 적합한 인터페이스를 보여준다.

본 제안된 시스템에서는 최대 486Byte의 메시지를 최소 0.1s의 주기로 반복 메시지 전송을 수행한다. 그러므로 이 시스템에 적합한 인터페이스를 고려하기 위해 그림 12와 같이 전송 시간간의 딜레이를 측정하였다. 측정은 두 라즈베리파이에서 AP 모드에 연결된 Wi-Fi 인터페이스의 Ping 테스트와 IoT 환경에서 저전력 통신을 위한 프로토콜인 6LoWPAN 인터페이스의 Ping 테스트를 수행한 결과이다. 측정 결과로 Wi-Fi의 경우는 평균 0.046ms의 딜레이를 가지지만 6LoWPAN은 평균 14.495ms의 긴 딜레이를 가지는 것을 볼 수 있다. 이 결과로 본 시스템의 잦은 센싱 데이터 및 제어를 위한 HTTP 메시지 전송을 위해 Wi-Fi가 적합함을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 레이저 전송 경로의 자가 교정을 위한 무선 네트워크 설계를 제안하고 레이저 절단

기의 시스템에 적용한 프로토타입을 개발하여 센싱 성능 및 네트워크 성능을 분석하였다. 그 결과로 지능형 인지를 통한 자동화 제어 시스템에 적합한 네트워크를 구성하였고 레이저 측정의 성능 및 정확도가 우수함을 보였다. 추후 연구에서는 센싱 데이터를 수집한 호스트에서 레이저 전송 경로의 자가 교정을 위한 머신러닝 방법을 제안할 계획이다.

References

- [1] J. Chase, "The Evolution of the Internet of Things," Texas Instruments, 2013.
- [2] J. Lee, S. Yoo, "An Extensible Smart Home IoT System Based on Low-Power Networks," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 13, No. 3, pp. 133-141, 2018 (in Korea).
- [3] J. Lee, S. Yoo, "Adaptive ADP-RPL Avoiding Unstable Nodes in Low Power IoT Networks," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 26, No. 2, pp. 92-99, 2020 (in Korea).
- [4] J. Sabina, B. Christian, M. Tobias, Ö. Denis, "Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems," Springer, Cham, Industrial Internet of Things, pp. 3-19, 2016.
- [5] D. Veronika, D. Aldo, "Towards Intelligent Alarm Management in the Age of IIoT," 2017 Global Internet of Things Summit (GIoTS), IEEE, pp. 1-5, 2017.
- [6] B.W Kim "The Forth Industrial Revolution : Industrial Internet of Thing," Journal of Law and Economic Regulation, Vol. 9, No. 1, pp. 215-232, 2016 (in Korea).
- [7] G.S. Park, T.T. Tran, "A Development of Real-time Monitoring System in Industrial Factory Based on Cloud Platform Using IoT Device," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 12, No. 1, pp. 25-32, 2018 (in Korea).
- [8] Available on : http://www.npstech.co.kr/sub02/sub02_01.php
- [9] J.P. Yoo, "Open Source Hardware Platform (OPHW) Trends and Forecasts," Internet and Security Focus, pp. 24-50, 2013.
- [10] Available on : <https://www.raspberrypi.org>
- [11] First Sensor, "Part Description DL100-7 PCBA3," 2018.
- [12] S. Cui, Y.C. Soh, "Linearity Indices and Linearity Improvement of 2-D Tetralateral Position-Sensitive Detector," Journal of Transactions on Electron Devices, Vol. 57, No. 9, pp. 2310-2316, 2010.
- [13] Available on : https://www.waveshare.com/wiki/High-Precision_AD/DA_Board
- [14] Texas Instruments Incorporated, "LM741 Operational Amplifier Datasheet," 2015.
- [15] Available on : <https://www.newport.com/p/8742>

Junyoung Lee (이 준 영)



He received the B.S. and M.S. degrees in information and communication engineering from Daegu University in 2018 and 2020, respectively.

Email: ljy908@daegu.ac.kr

Seong-eun Yoo (유 성 은)



Seong-eun Yoo received the Ph.D. degree in information and communications engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology

in 2010. Since 2010, he has been a Faculty Member with the School of Computer and Communication Engineering, Daegu University.

Email: seyoo@daegu.ac.kr