



LiDAR-based Efficient Spray Control Algorithm Development for Intelligent Spraying Machine

**Changju Yang¹, Meonghun Lee¹, Kyoung-chul Kim¹, Young Ki Hong¹,
Hyunjong Kim¹, Si Young Lee¹, Hee-Suk Ryu¹, Kyung-do Kwon¹, Min-seok Oh²,
Gookhwan Kim¹**

¹*Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences*

²*Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences*

A B S T R A C T

The decline in agricultural labor force not only makes it difficult to operate the agricultural machinery itself, but also leads to a tendency to avoid more dangerous work when it is involved, leading to a decrease in agricultural productivity. In particular, in the case of agricultural fields such as orchards, which target field crops, there are many restrictions on the development of unmanned technologies to reinforce the labor force. In the case of orchards, the most common work is to use a control device to spray pesticides. The control method of the existing batch spraying method causes excessive use of pesticides and scattering problems to neighboring farms, and in particular, farmers in the field are damaged by exposure. For this study, using a LiDAR sensor that has strong straightness and can accurately recognize the location of an object, it recognizes the shape of a fruit tree based on 3D location data, and applies down sampling and threshold processing techniques. In addition, it has been prepared so that hardware can be easily configured by simply installing an injection device, a controller, and a sensor in the existing commercial control unit. By recognizing the shape of the fruit tree and spraying pesticides only where necessary, a control algorithm was developed to reduce the use of pesticides and efficiently control work, and the effects were compared and analyzed through the paper cut.

© 2020 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : LiDAR, Speed Sprayer, Recognition of Fruits Tree Shape, Sequence Delay, Down Sampling

ARTICLE INFO: Received 8 October 2020, Revised 15 October 2020, Accepted 15 October 2020.

*Corresponding author is with the Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural

Sciences, Jeonju 54875, Korea.
E-mail address: meceng93@korea.kr

1. 서론

농업 노동력의 고령화 및 수적 감소는 작업의 편의성을 위해 개발된 농업기계마저도 그 운용에 어려움을 겪게 되고 또한 위험한 작업을 기피하는 추세는 농업생산성의 저하로 이어지게 된다. 다른 산업 분야와는 달리 특히 노지에서 농작업은 매우 제한적인 조건에서 균일하지 않은 작물을 대상으로 작업이 이루어지기 때문에 무인화 기술을 확립하는 데 어려움이 있다. 또한, 과수원의 불규칙하고 경사진 노면 조건으로 인해 농기계 및 작업기 전복사고와 농약을 살포하는 과정에서 농작업자가 유해성 농약을 과도하게 흡입하는 피해가 해마다 꾸준히 발생하고 있다. 농기계로 인한 손상 발생률은 2015년도 2.4% 에서 2019년도에는 3.2% 까지 증가했으며, 농약피해로 인한 질병 발생률은 동 기간 동안 1.9% 에서 2.8% 까지 상승하는 등 지속적으로 발생되고 있다[1].

위와 같은 농작업 현장의 문제들을 해소하기 위해 카메라로 과수의 유무를 인식하여 농약을 살포하는 방식으로 연구개발이 진행되었으나[2] 상용화까지 이루어지지는 못하였고, 그나마 중소형 기종을 대상으로 무선으로 제어하는 방식의 농기계가 개발되어 일부 상용화 되었다[3-4].

본 논문에서는 위와 같은 문제들을 해결하기 위해 down sampling 및 임계값 처리 기법을 적용하고 농작업자의 편의를 도모하면서 생산비용까지 절감할 수 있는 지능형 방제기를 위한 효율적인 분사장치 제어 알고리즘을 제안하였다. 또한, LiDAR의 설치 방향을 기존과는 달리하여 인식된 3차원 위치 데이터를 활용하여 과수의 유무 및 형상을 파악하고, 과수의 형상에 맞추어 적절하게 방제기의 분사 노즐을 제어할 수 있도록 개발하였으며, 과수의 형상에 맞추어 유효하게 분사되었는지 여부를 감수지를 통해 검증하였다[5].

본 논문의 2장에서는 지능형 방제기의 시스템 구성과 테스트 환경에 대한 정보를 설명하고 3장은 LiDAR를 활용하여 과수원 환경을 인식하는 방법에 대해 기술하였고, 4장에서는 실제 과수원 현장 데이터를 분석한 시뮬레이션 결과를 나타내었고, 5장 결론에서는 본 논문에서의 연구내용을 바탕으로 상용화 기술이 가능하도록 방향을 제시하였다.

2. 지능형 방제기 시스템 구성

2.1 LiDAR 기반 과수 형상 인식 시스템

과수 형상을 인식하고 방제하기 위한 유사 연구 사례로 3D depth 카메라를 사용하여 분사 제어에 적용한 사례가 있으나[6], 야외 환경에서 사용하기에는 직사광선 및 그림자에 의한 물리적 특성에 기인한 한계점과 스테레오 타입의 영상 정보를 위해서는 2대 이상 설치해야하는 등 시스템 구성의 복잡성 등 문제가 있다.

시스템 구성의 간결성과 인식거리의 범위문제와 3차원 형상 데이터를 얻기에 적합한 센서로 LiDAR(light detection and ranging)가 있다. LiDAR는 레이저를 이용하여 센서로부터 사물까지의 거리를 측정하고, 3차원 공간상에 위치한 사물까지의 거리 좌표 값을 포인트 클라우드 데이터 형태로 반환하여 거리 및 형상에 대한 정보를 기록할 수 있는 장치로서 지적, 건설, 국방, 우주, 이동 로봇 및 자율주행 자동차 기술 분야에서 핵심기술로 적용되며 폭 넓게 응용되어 사용되고 있다[7-11].

그러나 눈, 비 및 안개와 같은 악 기상상태에서의 영향으로 인식률 및 정확도에 큰 영향을 미치고[12-13] 센싱을 위한 내부 센서의 각도의 특성상 낮은 각 분해능(angular resolution) 때문에 과수원과 같은 사물이 밀집된 환경에서는 정확한 객체

구분이 어려운 단점이 있다[14].

본 연구에서는 과수 유무 및 형상을 인식하기 위하여 Velodyne사의 16채널 LiDAR(VLP-16)를 활용하였다. 그 사양은 <표 1>과 같다.

표 1. LiDAR의 세부 스펙 및 실험 조건
Table 2 LiDAR specifications and experimental conditions

채널	16 Channel
빛 파장(λ)	905nm
측정범위(거리)	100m
정확도	Max. ± 3 cm
수직방향 시야(ω)	$+15.0^\circ \sim -15.0^\circ$ (30°)
수평방향 시야(α)	360°
각도분해능(Vertical)	2.0°
각도분해능(실험조건) (Horizontal/Azimuth)	$0.1^\circ \sim 0.4^\circ$ (0.2°)
회전속도(실험조건)	5Hz ~ 20Hz (10Hz)

본체의 수평기준으로 총 16개의 채널이 각각 2° 간격으로 위치 데이터를 감지하도록 각도(ω)가 구성되어 있고, 중심으로부터 Offset 각도(α)를 기준으로 360° 회전하며 물체까지의 거리를 측정하는데, 본 연구에서는 LiDAR로부터 전송되는 데이터 sequence 마다 sampling rate를 0.2° 를 기준으로 위치 데이터를 인식하였다.

LiDAR는 과수의 높이를 고려하여 지면으로부터 1.9m 위치에 <그림 4>와 같이 설치하였다. 이 때, LiDAR의 방향은 하늘을 바라보는 형태로 설치하였는데, 이는 LiDAR의 동작 특성상 360° 회전하면서 모든 방향을 센싱을 하기 때문에 현시점에 위치한 과수의 좌우 위치를 매 sequence 마다 인식할 수 있기 때문이다.

LiDAR에 의해 감지되는 물리적인 영역은 개방된 하늘방향과 SS기 몸체로 인한 지면 방향의 사각지대를 제외한 좌우측 영역이 되고 LiDAR 중심을 기

준으로 전방 15° 부터 후방 15° 까지 LiDAR로부터 2m 떨어진 나무 기준 약 1.072m 이내 폭을 인식할 수 있다. 수평방향으로 설치할 경우, 주변 환경 정보(과수 및 구조물)의 제한된 폭(2m 기준 1.072m) 이하만 인식하게 되어 3m 이상의 크기로 자라는 과수의 전체 높이 및 형상을 인식할 수 없다.

2.2 분사 장치 및 제어 시스템

농약살포를 위해서는 방제기(SS기, speed sprayer)를 이용하여 작물에 직접 살포하는 방식을 채택 및 활용하고 있는데, 과수원 내를 이동하면서 농약을 일괄 분사하는 방식으로 운용되고 있다[15]. 과수원용 방제기는 고성능 분무기로서 노즐에서 액체를 분사하고 송풍기의 강한 바람으로 흔들여 주어 과수 잎사귀 앞뒷면에 고르게 점착되도록 살포하는 방식의 방제기이다.

일반 과수원에서 사용하고 있는 사용 방제기의 개별 분사 노즐(좌우, 6개씩 총 12개) 앞 단에 전자식 솔레노이드 밸브를 장착하여 분사 노즐을 필요에 따라 개별적으로 제어할 수 있도록 하였으며 <그림 1>은 솔레노이드 밸브를 제어하고 유량 및



그림 1. 지능형 방제기 하드웨어 시스템 구조
Figure 1. Intelligent control system hardware system structure

압력을 측정할 수 있으며 상위 제어기와의 통신을 위해 제작된 컨트롤 박스(하위 제어기)가 탑재된 지능형 방제기의 하드웨어 구조를 보여주고 있다.

LiDAR가 과수 형상에 대한 3차원 좌표값 정보를 상위제어기로 전달하면 위치와 각도 데이터를 기반으로 상위제어기에서는 인식 영역을 지정하여 전자 밸브를 제어하기 위한 신호를 제어 시스템(하위제어기)으로 전송한다. 이 때, 데이터 처리 및 제어 시스템은 ROS Kinetic Ver. 과 python 2.7을 활용하여 구현하였다.

3. LiDAR를 활용한 과수원 환경 인식

과수원 환경에서 3차원 좌표값을 기반으로 과수를 인식시키기 위해 중요한 점은 과수 줄기와 관수 파이프, 과수 기둥과 지지대와의 구별이다. <표 1>에 나타낸 바와 같이, LiDAR로 인식되는 데이터

간 거리는 수평 방향 분해능이 0.1~0.4° (약 1.75~6.98mm)이기 때문에 가로 방향으로 설치된 직경 15mm의 관수 파이프는 3~8개의 데이터가 인식되고, 수직으로 설치된 직경 20mm의 지지대의 경우 개별 노즐에 해당하는 영역 별 3~52개의 데이터가 인식되는데 이는 과수의 잔가지 보다 굵거나 유사한 형태를 띠고 있기 때문에 LiDAR에 의존하여 각각의 개체로 구분해내는 것은 쉽지 않다.

LiDAR의 데이터 sequence 주기를 R_t 라 하고, 인식된 3차원 위치 데이터를 분석하고 제어 신호를 생성하여 방제기의 슬레노이드 밸브를 제어하기 까지 걸리는 시간을 P_t 라고 했을 때, 식(1)과 같은 관계를 만족해야한다.

$$P_t \leq R_t \quad (1)$$

LiDAR의 동작 조건을 600rpm으로 설정하였기

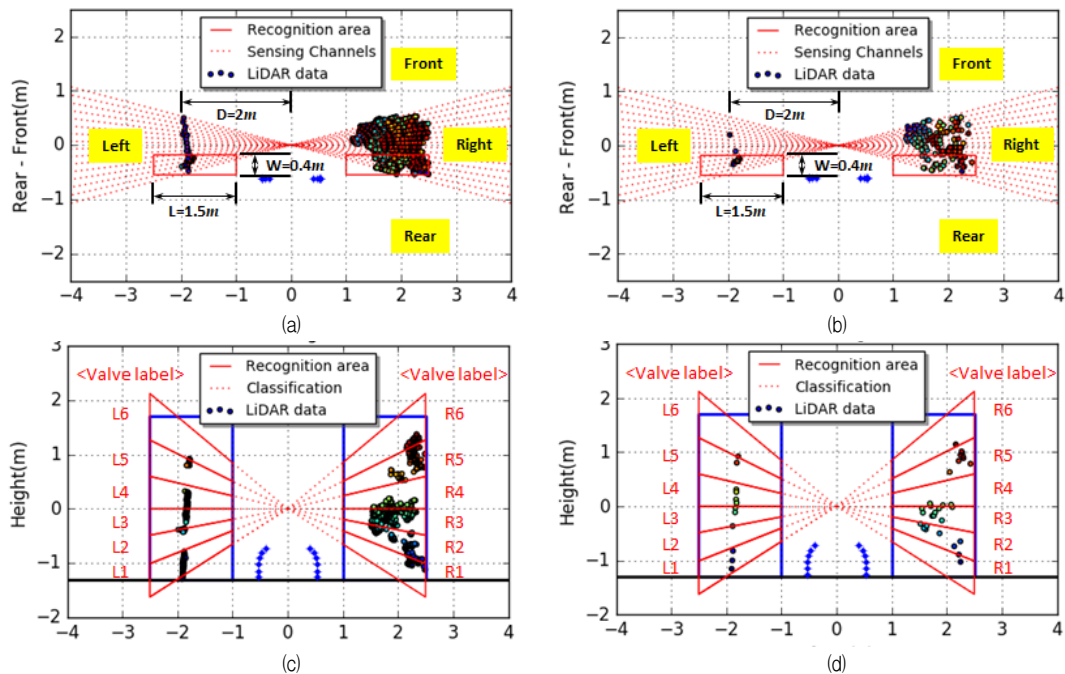


그림 2. 과수 및 설치물 구분을 위한 down sampling 적용 전·후 데이터 분포상태 비교

Figure 2. Comparison of data distribution status before and after application of down sampling to classify fruit trees and installations

때문에 R_t 는 0.1초 이고, P_t 의 시간이 R_t 보다 길어지면 버퍼링과 같은 문제가 발생한다. 분사 제어 자체는 제 기능을 수행하지만 실시간으로 제어를 할 수 없다면 잘 못된 위치에 농약을 분사하는 결과를 초래하게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 down sampling 기법을 적용하였다.

<그림 2>는 6월 5일에 기록한 과수 생육 데이터를 기준으로 나타낸 그림이다. <그림 2(a)>와 <그림 2(c)>는 상부에서 바라볼 때의 데이터 분포를 나타내고 있고 <그림 2(b)>와 <그림 2(d)>는 이동방향을 기준으로 후방에서 바라볼 때의 데이터 분포를 나타내고 있다. <그림 2(a)>와 <그림 2(b)>의 중간에 위치한 빨간색 상자는 솔레노이드 밸브가 부착된 노즐을 제어하여 농약을 분사할 대상에 대한 목표 위치를 나타내고 있다. 또한, <그림 2(c)>와 <그림 2(d)>의 파란색 박스는 방제기의 중심으로부터 인식해야 할 대상의 기준 거리와 높이를 표시한 것이고, 빨간색 대각선은 과수 높이에 해당하는 각도를 LiDAR의 중심으로부터 균등하게 나누어 각 밸브별 분사할 영역에 대해 정의 한 것을 나타내고 있다.

<그림 2(b)>와 <그림 2(d)>는 down sampling을 적용한 결과를 나타내고 있다. <그림 2(b)>의 좌측 부분의 관수 파이프에 해당하는 데이터의 개수가 현저히 줄어 들어있음을 알 수 있으며 빨간색 사각형내의 인식된 데이터의 숫자도 줄어들어 있음을 알 수 있다.

<그림 3>은 실제 과수원 현장에서 생육 시기별로 LiDAR로 인식한 sequence 별 위치 데이터의 최대 개수와 down sampling을 적용한 후의 위치 데이터 수를 비교한 것이고, <그림 4>는 <그림 3>의 조건하에 수행한 down sampling을 적용하기 전후의 위치 데이터 수를 비교한 것이다. <그림 4>에서 알 수 있듯이 이파리가 무성하게 자란 6월 5일자 데이터 기준으로 처리속도 시간이 약 472.726 msec 였으나 down sampling 을 적용한 후에는 약

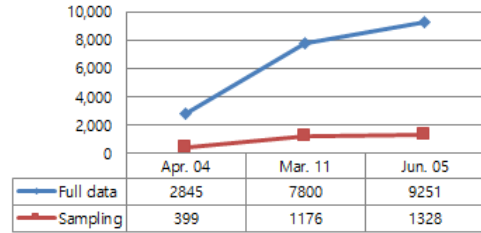


그림 3. 시기별 과수 생육 상태에 따른 최대 인식 데이터 수 비교

Figure 3. Comparison of the maximum number of recognized data according to the growth status of fruit trees by period

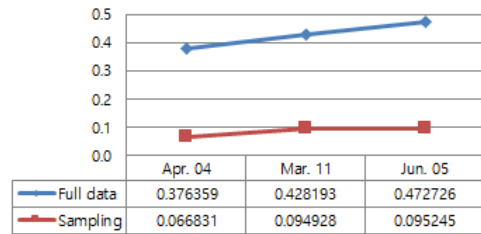


그림 4. 시기별 과수 생육 상태에 따른 최대 처리 시간 비교

Figure 4. Comparison of maximum processing time according to fruit tree growth status by period

95.245msec 로 감소하였으며 약 4.96배 이상 빠른 처리속도를 확보하였다.

4. 시뮬레이션

4.1 3D 과수 형상 위치 데이터 분석

과수원 내에서 방제기를 운용함에 있어서 고려해야 할 조건은 과수 형상에 맞추어 실시간 제어를 하는 것이 전부는 아니다. LiDAR는 동작원리 특성상 안개와 같은 형태의 스모그를 인지하는 상황이 발생하는데 특히 분무된 농약 상황을 마치 과수가 존재하는 것처럼 인식하여 과수 유무 판별에 어려움이 생길 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 sequence delay라는 기법을 도입하였다.

<그림 5>는 시간지연에 따른 sequence간 과수

형상에 대한 위치데이터의 비교를 나타낸 것이다.

방재기가 등속으로 움직이는 경우 시간 변화량 t_s 의 관계는 식(2)와 같고, 시간 변화량에 대한 sequence 데이터의 개수 n_{seq} 를 구하기 위해서는 식(3)과 같이 LiDAR의 데이터 전송 주기 R_t 로 나누면 구할 수 있다.

$$t_s = t_1 - t_0 \quad (2)$$

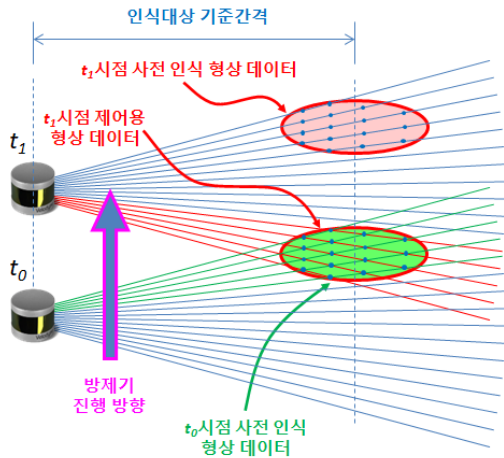


그림 5. 시간지연에 따른 sequence 간 과수 형상 인식 데이터 비교

Figure 5. Comparison of fruit tree shape recognition data between sequences according to time delay

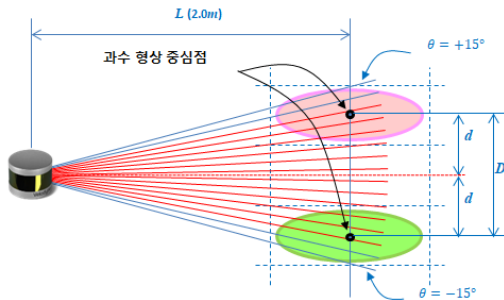


그림 6. LiDAR 센싱 구조 및 단일 Sequence 데이터 3차원 위치 데이터 분석

Figure 6. LiDAR sensing structure and single sequence data 3D position data analysis

$$n_{seq} = \frac{t_s}{R_t} = \frac{t_1 - t_0}{R_t} \quad (3)$$

위 식처럼 시점 t_0 일 때 인식된 과수형상 데이터 중 앞부분의 과수 형상 데이터에 대하여 제어 신호를 생성하고, t_1 일 때 n번째 sequence 데이터를 활용하여 뒷부분 과수 형상 데이터에 대한 제어 신호를 생성하여 비교한다.

<그림 6>은 과수까지의 거리를 기준으로 인식되는 영역을 3부분으로 나누고 앞부분과 뒷부분에 대한 각각의 과수형상 데이터의 중심을 기준으로 인식된 데이터의 물리적 구조에 대한 분석결과를 나타내고 있다. 식(4)는 LiDAR에서 인식되는 단일 sequence 내에 인식된 위치 정보를 고려하여 앞뒤 과수 형상 데이터간 거리를 계산하는 식이다.

$$D = 2d = 2L \cdot \tan(\theta) \cdot \frac{2}{3} \quad (4)$$

{ D : 과수 형상 간 중심거리
 d : LiDAR 중심으로부터 거리
 L : 라이다로부터 과수 형상 중심까지의 거리
 θ : 최대 인식 각도 범위

식(5)와 식(6) 그리고 식(7)은 식(4)으로부터 계산된 D 값을 이용하여, 방재기의 등속 이동 특성을 고려한 t_0 시점의 앞부분 형상 데이터와 t_1 시점의 뒷부분 데이터가 서로 일치하기 위해 필요한 시간 t_s 를 계산하고 이를 바탕으로 몇 번째 sequence 데이터를 활용해야하는지를 나타내고 있다.

식(5)는 거리 D 를 구하기 위해 속도 V 와 시간 t_s 와의 관계를 정의한 것이고, 식(6)은 식(5)를 시간 t_s 에 대해 정리한 것이며, 식(7)은 식(3)에 식(4)와 식(6)을 대입하여 정리한 결과를 나타내었다.

$$D = V \cdot (t_1 - t_0) = V \cdot t_s \quad (5)$$

$$t_s = \frac{D}{V} \tag{6}$$

$$n_{seq} = \frac{t_s}{R_t} = \frac{t_1 - t_0}{R_t} = \frac{D}{V \cdot R_t} \cong 11.91 \tag{7}$$

식(7)에 의해 계산한 결과, sequence 데이터의 간격을 12번째(약 11.91)와 비교하고 제어해야 함을 알 수 있다.

4.2 밸브 제어 알고리즘 시뮬레이션 및 검증

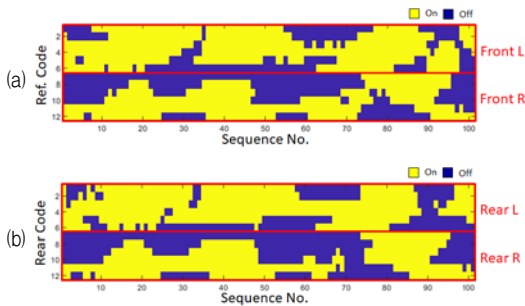


그림 7. 사전 인식 및 제어용 형상 데이터 제어 상태 비교
Figure 7. Shape data control status comparison for pre-recognition and control

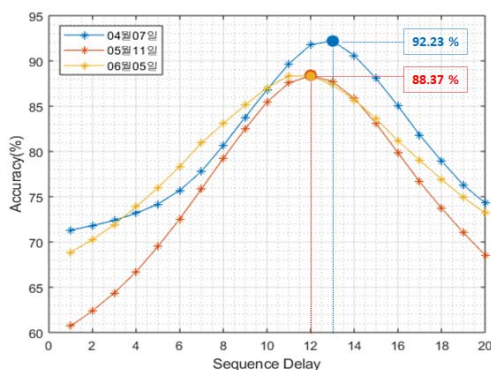


그림 8. Sequence 시간 지연 기법 적용 시뮬레이션 결과
Figure 8. Simulation result of applying sequence time delay technique

<그림 7>은 좌우 각 6개 노즐(Valve Name)에 설치된 솔레노이드 밸브를 On/Off 제어하기 위한 이진화 코드를 12비트로 나열하여 적용한 결과를 보여주고 있다. <그림 7(a)>는 <그림 5>의 t_0 일 때 사전 인식 형상 데이터를 임계값 처리한 결과이고 <그림 7(b)>는 t_1 일 때 제어용 형상 데이터를 임계값 처리한 결과를 나타내고 있다.

<그림 8>은 <그림 7>의 결과 데이터를 바탕으로 각 sequence 마다 유사한 정도를 비교한 결과를 나타내고 있다. 식(7)에서 얻은 결과를 검증하기 위해 sequence 데이터 간 개수를 1개씩 증가시킨 일치율을 그래프로 표현하였으며, 이파리가 없는 맨가지 상태(4월 7일자)의 데이터 경우를 제외한 나머지의 경우 모두 12개 sequence 간격을 두고 제어했을 때 가장 높은 일치율을 보였다.

<그림 9>은 LiDAR로 과수 형상을 정확히 인식하고 분사 제어를 수행하는지 여부를 검증하기 위해 분사된 용액의 상태를 판별할 수 있는 감수지를 부착한 배치 구조를 나타내고 있다.

테스트 조건은 풍속 2m/s 이하 일 때를 기준으로 방제기의 송풍기의 회전은 2500 rpm, 압력은 25 bar 로 설정하고 시험을 수행하였다. 감수지의 색깔은 노란색이며 수용성 액체, 즉 농약 성분이 묻은 곳은 파란색으로 변한다.

<그림 10(a)>는 기존의 일괄 분사하는 방식으로 농약을 살포 했을 때 감수지에 점착된 상태를 나타내고 있고, <그림 10(b)>는 LiDAR에 의해 과수의 형상을 인식하고 위치 데이터를 기반으로 제안한 알고리즘을 적용하여 농약을 살포 했을 때 감수지에 점착된 결과를 나타낸 것이다. 단순 색상 면적을 기준으로만 비교를 하면 분사 제어 방식이 다소 부족하게 보일 수 있다. <표 2>는 감수지에 점착된 농약의 면적에 대하여 유효한 정도를 나타낸 기준값을 보여주고 있다.

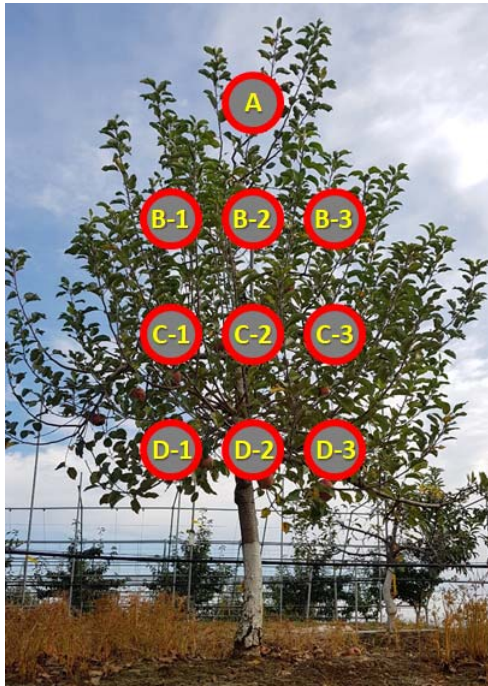


그림 9. 과수 형상을 고려한 감수지 배치 구조도
Figure 9. Structure of water-sensing-paper arrangement considering fruit tree shape

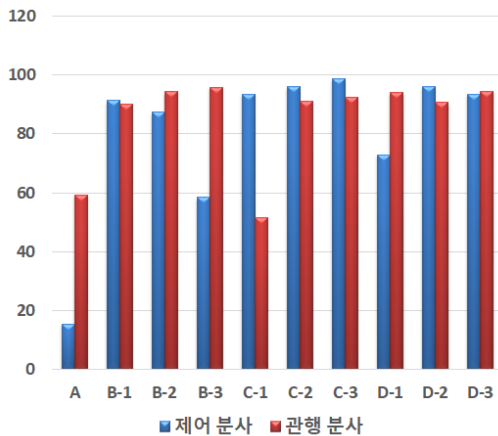


그림 10. 관행 분사 방식과 제어 분사 방식의 점착률 비교
Figure 10. Comparison of adhesion rate between conventional spraying and controlled spraying

표 2. 감수지 피복률 판단 지표[5]

Table 2. Indicators for determining the coverage ratio of water-sensitive paper

Coverage level (%)	Classification
0-5%	Insignificant
5-20%	Underdosing
20-50%	Excellent
50-80%	Excessive
80-100%	Overdosing

위의 <표 2>에서 나타난 바와 같이 감수지에 분사된 용액이 점착된 정도가 20% 이하는 부족, 20~50% 사이의 범위에 있으면 정상수준이라고 할 수 있고, 50% 이상은 초과, 80이상은 과다로 분류되어 있다. 이를 바탕으로 <그림 10>의 두 가지 분사 방식에 대한 결과 값을 비교 하였을 때, 과수 끝가지 형태에 부착된 A위치에 있는 감수지와 같이 송풍기의 영향으로 인해 발생하는 오차를 감안하면 오히려 LiDAR에 의해 과수 형상을 인식하고 개별 노즐을 제어하면서 분사한 방식이 훨씬 더 정상 지표에 가깝게 동작했음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 농가 현장에 노동력 감소로 인한 공백을 돕고, 손쉽게 다룰 수 있을 뿐 아니라, 과수의 형상과 유무에 따라 선택적으로 방제를 할 수 있는 과수원용 지능형 방제기(speed sprayer)를 위한 분사 제어 알고리즘 관한 내용을 다루었다.

연구 개발에 사용된 지능형 방제기는 상용 방제기에 센서와 제어기, 노즐 개폐장치만을 추가 설치하여 하드웨어 시스템을 구성하였고, 소프트웨어적으로는 down sampling 과 threshold 처리 기법을 적용한 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 과수의 형상과 유무를 판단하기 위해 LiDAR를 사용하였는데, LiDAR는 거리와 각도 정보를 통해 3차원 공간 내에 존재하는 과수, 관수 파이프, 지지대 등의 모

든 사물에 대한 위치 데이터를 표시해준다. 이러한 LiDAR 정보를 활용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, down sampling 과 임계값 처리 기법을 적용하여 사물이 없음에도 불구하고 분사된 용액으로 인해 데이터가 잘못 인식되는 영향을 제거 하고 과수를 제외한 설치물들의 특성을 파악하여 배제시킨 후 과수의 형상에 따라 방제기의 분사 노즐을 개별적으로 제어하는 것이 가능함을 증명하였다.

또한, 감수지를 통해 기존 관행 살포 방식과 LiDAR센서에 의한 분사제어 방식의 효과를 비교 분석 하였으며, 그 결과 오히려 기존 방식에 비해 더 적절한 방제를 실시 할 수 있음을 보였다.

이로써 지능형 방제기를 사용하게 되면 관행 방제기와 동일한 방제 효과를 내면서 농약 사용량은 절감할 수 있어 농민들의 생산 비용을 줄일 수 있고, 농약 살포로 인한 피해 등을 현저히 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 추후, 농가에 적용 성능을 평가하고, 기술의 완성도 제고를 위해 현장 적용 연구를 수행하고 최종적으로 농가에 보급될 수 있도록 추진할 계획이다.

References

- [1] *Investigation of diseases and damages in the work of farmers*, Rural Development Administration, 2019.
- [2] K. H. Seo, D. H. Kim, G. D. Bae, and S. H. Park, *Development of tree recognition algorithm for low pesticide control*, Conference of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 1, No. 1, p. 365, 2017.
- [3] K. H. Seo, D. H. Kim, G. D. Bae, and S. H. Park, *Developed remote control sprayer for low pesticide variant control*, Conference of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 1, No. 1, p. 366, 2017.
- [4] K. N. Lee, J. K. Lim, M. Y. Lee, J. H. Kim, and H. S. Lee, *User interface design of a remote controller for a sprayer*, Conference of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 129-130, 2019.
- [5] J. Mangadoa, S. Arazuria, P. Arnala, C. Jaréna and Ainara Lópeza, *Measuring the accuracy of a pesticide treatment by an image analyzer*, Procedia Technology, Vol. 8. pp. 498-502, 2013.
- [6] M. Y. Lee, M. H. Cha, C. S. Park, H. M. Lee, and G. H. Lee, *Development of off-road surface shape estimation system using depth camera for unmanned agricultural tractor*, Conference of The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 1, No. 1, pp. 135-136, 2020.
- [7] H. J. Kim, J. B. Lee, and Y. I. Kim, *A study on the integration of airborne LiDAR and UAV data for high-resolution topographic information construction of tidal flat*, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 38, No. 4, pp. 345-352, 2020.
- [8] T. W. Yoo, and J-H Kwon, *Accuracy verification of digital topography (contour lines) using high-precision LiDAR data*, Conference of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 1, No. 1, pp. 241-243, 2020.
- [9] J-K. Park and K-W. Lee, *Analysis of Data Characteristics by UAV LiDAR Sensor*, Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 5, pp. 1-6, 2020.

[10] M-G Kim, S-H Bae, and H. I. Kim, *Real-time 3D-LiDAR object detection in autonomous vehicle systems using cluster-based candidates and deep learning*, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 25, No. 9, pp. 795-801, 2019.

[11] J. T. Park, J. S. Lee, S. A. Park, and D. G. Sim, *Projection-based occupancy map coding for 3D point cloud compression*, IEIE Transactions on Smart Processing & Computing, Vol. 9, No. 4, pp. 293-297, 2020.

[12] E. J. Hyun, and J. H. Lee, *Technology trends of automotive radar*, Auto Journal : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 36, No. 8, pp. 46-53, 2014.

[13] Y. Li, P. Duthon, M. Colomb, and J. I. Guzman, *What happens for a ToF LiDAR in fog?*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, DOI: 10.1109/TITS.2020.2998077, pp. 1-12, 2020.

[14] M. W. Jung and S. H. Lee, *Object perception algorithm based on LiDAR for autonomous vehicle*, Conference of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 342, pp. 639-642, 2017.

[15] W-R Gill, W-S Park, D-Y Im, and Y-J Ryoo, *Design and development of chemical spray robot based on analysis of greenhouse environment*, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 30, No. 4, pp. 290-296, 2020.

지능형 방제기를 위한 LiDAR 기반 효율적인 분사제어 알고리즘 개발

양창주¹, 이명훈², 김경철², 홍영기², 김현종³, 이시영³, 류희석⁴, 권경도², 오민석⁵, 김국환²

¹국립농업과학원 농업공학부 박사후전문연구원

²국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

³국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

⁴국립농업과학원 농업공학부 공업서기

⁵국립농업과학원 농산물안전성부 농업연구사

요 약

농업 노동력의 저하는 농기계자체의 운용을 어렵게 할뿐만 아니라, 위험한 작업이 수반되는 경우에는 더욱 기피하게 되는 추세로 이어져 농업생산성의 저하로 연결된다. 특히 과수원과 같이 노지 작물을 대상으로 하는 농업분야의 경우 노동력 보장을 위한 무인화 기술 개발에 많은 제약이 따른다. 과수원의 경우 농약을 살포를 위해 방제기를 사용하는 작업이 가장 많이 발생한다. 기존의 일괄 살포 방식의 방제 방식은 농약의 과다 사용 및 주변 농가로의 비산 문제 등을 유발하고 특히 현장에 있는 농민이 노출에 의한 피해를 입게 된다. 본 연구는 직진성이 강하고 사물의 위치를 정확하게 인식 할 수 있는 LiDAR 센서를 활용하여, 과수의 형상을 인식하고 필요한 곳에만 농약을 분사하는 방식으로 농약 사용량 절감과 효율적인 방제작업이 가능한 제어 알고리즘을 개발하고, 그 효과를 감수지를 통해 비교 분석하였다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ013860032020)의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.



Changju Yang is a post-doctoral researcher of National Institute of Agricultural Sciences, Republic of Korea. He received the bachelor's degree in the Department of Electronic Engineering from the Chonbuk National

University in 2008. He received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Electronic Engineering from Chonbuk National University in 2010 and 2014, respectively. He was a research professor in the Department of Electronic Engineering at Chonbuk National University from 2013 to 2015. His current research interests include artificial intelligence, intelligent systems, neuromorphic computing.

E-mail address: nobel1st@korea.kr



Meonghun Lee is a researcher of National Institute of Agricultural Sciences, Republic of Korea. He received his M.S. (2006) and Ph.D. (2011) degrees

from Sunchon National University.

His work includes a wide variety of wireless communication, big data analytics, and applied researches. His research interests are in the fields of mobile and wireless networks, ICT convergence, and standards.

E-mail address: leemh5544@gmail.com



Kyoung-chul Kim received the bachelor's degree in the Department of Precision Mechanical Engineering from the Chonbuk National University in 2007. He

received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Precision Mechanical Engineering from Chonbuk National University in 2009 and 2015, respectively. He was a research in the Department of Smart Agriculture at FACT from 2016 to 2018. He has been a researcher in the Division of smart farm development at National Institute of Agricultural Sciences since 2019. His current research

interests include agricultural robot, smart farm, drone, and artificial intelligence.

E-mail address: kkc mole@korea.kr



Young Ki Hong received the bachelor's degree in the Department of Agricultural Engineering from the Chungbuk National University in 1996. He

received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Agricultural Engineering from Tokyo University of Agriculture in 2002 and 2004, respectively. He has been a researcher in the National Institute of Agricultural Sciences since 2007. His current research interests include artificial intelligence, intelligent systems, smart farm. He is a life member of the KSAM.

E-mail address: sanm70@korea.kr



Hyunjong Kim received the bachelor's degree in the Department of Animal Science from the Seoul National University in 1991.

He received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Animal Science from Seoul National University in 1993 and 2000. He worked at National Institute of Animal Science from 1998 to 2018. And he is working a researcher in the Division of Smart Farm Development at National Institute of Agricultural Sciences from 2019. His current research interests include artificial intelligence, Smart Farm for Animal, and Sensor data analysis of Animal Farm.

E-mail address: hyunjongnt@korea.kr



Si Young Lee received the bachelor's degree in the Department of Agricultural Machinery Engineering from the KyungPook National University in 2008. He received the M.S.

degree and the Ph.D. degree in the Department of KyungPook National University in 2004 and 2008, respectively. From 1992 to 2009, he was a researcher at Department of Greenhouse Cultivation of National Horticultural Research Institute. He was a senior researcher at Department of Energy & Environment Engineering and Department of Smart Farm Development. from 2009 to 2020. His current research interests include artificial intelligence and smart farming systems.

E-mail address: leesy42@korea.kr



Hee-Suk Ryu received the bachelor's degree in the Department of Environment Hygiene from the Seoyoung University. I have been a government officials at Rural

Development Administration since 2017.

He interest in unmanned agricultural machinery and machinery manufacture.

E-mail address: ryuhs2017@korea.kr



Kyung-do Kwon received the bachelor's degree in the Department of Bioindustrial Machinery Engineering from Chungnam National University in 2015. He received the M.S.

degree in the Bioresources Process & Environment Control Engineering from Chungnam National University in 2017. His current research interests include image processing and artificial intelligence.

E-mail address: kwonkd89@korea.kr



Min-seok Oh received the bachelor's degree in the Department of Bioenvironmental Chemistry from the JeonBuk National University in 2010. He

received the M.S. degree in the Department of Agriculture Chemistry from JeonBuk National University in 2012. From 2013 to 2018, he was a research assistant at National Institute of Agricultural Sciences. His current research interests include pesticide residue analysis, pesticide drift.

E-mail address: minseok84@korea.kr



Gookhwan Kim received the bachelor's degree in the Department of Mechanical Engineering from the Kyung-Hee University in 2001. He received the M.S.

degree and the Ph.D. degree in the Department of Mechanical Engineering from Kyung-Hee University in 2003 and 2010, respectively. He was a post doctor in National Institute of Agricultural Sciences from 2010 to 2015. His current research interests include Agricultural Robot, especially Field Robot, and Intelligent Devices for Agriculture.

E-mail address: meceng93@korea.kr