

## 자율주행 스피드스프레이어의 최적 경로 설정 프로그램 개발

### Development of Optimal Path Planning Program for Autonomous SpeedSprayer

조성인*	황규영*	박두산*	박태진*	김민수*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S.I.Cho	K.Y.Hwang	T.S.Park	T.J.Park	M.S.Kim

#### 1. 서 론

과수원에서 방제 작업자가 중독의 위험에 직면하게 되는 문제점을 해결하기 위해서 스피드스프레이어를 이용한 무인 방제 작업에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔는데, 특히 이(1999)는 DGPS를 이용한 전자 지도를 사용한 방제 작업의 가능성을 제시하였다. 전자지도를 차량의 주행 경로 생성에 이용할 경우, 대부분의 과수원에서는 작업기가 주행하며 작업이 가능한 방향이 한 방향으로 결정되어 있어 단순히 최단 순환 경로를 구하는 알고리즘을 적용할 수 없다. 또한 과수원내의 특정 과수를 선택하여 작업을 수행하기 위한 연구가 진행되고 있는 현실에 비추어 볼 때, 과수원에 대한 부분적인 작업이 필요할 경우 자율주행 스피드스프레이어의 작업 경로를 결정해야할 필요성이 있다고 판단하였다.

따라서 본 연구에서는 과수원 내의 과수의 위치와 과수의 생육정보를 표시한 전자지도를 작성하고, 과수원과 비슷한 경로 제약 조건을 가지고 있는 창고에서 물건을 선별하여 적재하기 위해 사용되는 오더피킹(order-picking)알고리즘을 이용한 자율 주행 스피드스프레이어의 최적 작업 경로 생성 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램을 사용하여 과수원 내의 모든 과수에 대한 방제 작업을 시행하는 경우와 과수원내의 과수 일부에 대한 작업을 시행할 경우에 대하여 각각 경로를 생성하고 관습적인 방제 작업 방식의 작업 경로와 비교하여 개발된 프로그램의 성능을 평가하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 자율주행 스피드스프레이어

오더피킹 알고리즘을 응용하기 위해서는 스피드스프레이어가 후진하는 것이 가능해야만 한다. 이(1998)와 이(1999)의 연구 결과에 의하면 DGPS와 퍼지제어를 사용한 스피드스프레이어의 자율 주행이 가능하며, 조 등(1995)의 연구 결과에 의하면 단순한 후진보다 까다로운 트레일러가 부착된 트랙터의 후진 제어도 가능한 것이 입증되었다. 따라서 연구 대상으로 설정한 스피드스프레이어는 DGPS를 이용한 자율 주행이 가능하며, 후진이 가능하다고 가정하였다.

나. 전자지도의 구성

과수원에 따라 과수원의 경계선, 과수의 위치등과 같은 위치 정보와 과수의 생육상태(수고, 수폭, 원줄기의 반지름, 병해의 종류)와 방제 작업 날짜, 방제 작업할 나무 등에 대한 속성 정보를 데이터베이스로 구축하여 방제하고자 하는 병해의 종류, 과수원, 날짜 등에 따라 방제 작업을 위한 데이터를 구분하여 표 1과 같이 데이터베이스 상의 테이블로 구현하였다.

Table 1 Database tables

Table	Contents of the table
FIELD_NAME	Name of the filed
	Distance between trees
	Distance between column of trees
BOUNDARY_MAP	Coordinates of boundary points
WORK_DATE	Date of scattering
	ID of the field to be scattered
TREE	Coordinates
	Entity of trees
SPRAY	ID of trees to be scattered
DISEASE_NAME	Name of disease
	Pesticide for disease

다. DP(Dynamic programming)을 이용한 오더피킹(Order-picking) 알고리즘

오더피킹은 고객의 주문 품목들을 창고의 저장소로부터 꺼내는 과정을 말한다. 창고 내에서의 물리적인 위치를 다음과 같이 표현할 수 있다.(조종남, 2002)

$a_i$ : 통로  $i$ 가 끝나는 위치

$b_i$ : 통로  $i$ 가 시작하는 위치

$d$ : depot

이동경로는 피킹할 주문 품목  $l$ 을 포함하는 가장 왼쪽에 있는 종속된 통로에서 시작하여 피킹할 품목  $r$ 을 포함하는 가장 오른쪽에 있는 통로에서 끝난다. 통로  $i$ 에 있는 주문 품목  $l$ 이 있는 피킹 장소로 가기 위한 부분적인 이동경로를  $T_i$ 라고 가정하면 다음과 같은 두 가지 이동 경로로 구분할 수 있다.

$T_i^a$ : 통로  $i$ 의 뒤에서 진입하는 경로

$T_i^b$ : 통로  $i$ 의 앞에서 진입하는 경로

통로  $i-1$ 에서  $i$ 로 이동하는 방법은 다음과 같은 두 가지 방법으로 구분할 수 있다.

$t_a$ : 블록의 뒷부분에서 이동하는 경우

$t_b$ : 블록의 앞부분에서 이동하는 경우

통로  $i$ 에 있는 주문 품목을 모두 피킹하는 방법은 다음과 같은 네 가지 방법으로 구분할 수 있다.

$t_1$ : 통로를 통과하는 경우

$t_2$ : 통로에 진입하지 않는 경우

$t_3$ : 블록의 앞부분에서 진입하였다가 다시 나가는 경우

$t_4$ : 블록의 뒷부분에서 진입하였다가 다시 나가는 경우

여기서  $t_2$ 는 통로에 주문품목이 포함되지 않은 경우에만 해당된다. 부분적인 경로  $T_i$ 는 앞에서 설명한 경로  $t_w$  ( $w=1,2,3,4,a, b$ )를 포함하여  $T_i+t_w$ 로 확장할 수 있다. 경로  $T_i+t_w$ 를 통과하는데 걸리는 시간은  $f(T_i+t_w)$ 라 한다.

오더피킹을 위한 경로 생성 절차는 다음과 같다.

STEP 1. 피킹할 주문 품목을 포함하는 중속된 통로  $l$ 에 접근하는 두 가지 부분적인 경로는 다음과 같다.

$T_l^a$ : 노드  $b_l$ 에서 출발하여 노드  $a_l$ 에서 끝난다. 그리고  $t_1$ 과정을 거친다.

$T_l^b$ : 노드  $b_l$ 에서 출발하여 노드  $b_l$ 에서 끝난다. 그리고  $t_3$ 과정을 거친다.

$T_l^a$ : 노드  $a_l$ 에서 출발하여 노드  $a_l$ 에서 끝난다. 그리고  $t_4$ 과정을 거친다.

$T_l^b$ : 노드  $a_l$ 에서 출발하여 노드  $b_l$ 에서 끝난다. 그리고  $t_1$ 과정을 거친다.

STEP 2. 각각의 연속되는 통로  $i$ 에 대하여( $l < i < r$ )에 대하여 통로  $i$ 가 피킹할 주문 품목을 포함하고 있다면  $T_i^a$ 와  $T_i^b$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_i^a = T_{i-1}^a + t_a + t_4 \quad \text{if, } f(T_{i-1}^a + t_4 + t_a) < f(T_{i-1}^b + t_b + t_1)$$

$$T_i^a = T_{i-1}^a + t_b + t_1, \quad \text{otherwise}$$

$$T_i^b = T_{i-1}^b + t_b + t_3 \quad \text{if, } f(T_{i-1}^a + t_b + t_3) < f(T_{i-1}^a + t_a + t_1)$$

$$T_i^b = T_{i-1}^a + t_b + t_1, \quad \text{otherwise}$$

만약 통로  $i$ 가 피킹할 주문 품목을 포함하고 있지 않다면

$$T_i^a = T_{i-1}^a + t_2$$

$$T_i^b = T_{i-1}^b + t_2$$

와 같이 정의할 수 있다.

위의 과정을 마지막 통로까지 실행하여 각 단계에서 생성된 4가지 경로들 중에서 각 단계마다 거리가 가장 짧은  $T_i^a$ 와  $T_i^b$ 를 선택하여 최종적인 작업 경로를 생성하게 된다.

라. 오더피킹 알고리즘을 응용한 방제 작업 경로의 생성

과수에 대해서 2회 살포 법을 사용하는 것을 가정하고, 한쪽 방향의 주행만이 가능하여 과수열의 중간에서는 180도 회전이 불가능함을 가정하였다. 같은 과수 행에 속한 두 나무의 중간 지점을 방제 지점으로 설정하였고, 이웃한 같은 열에 과수가 없을 경우에는 스피드스프레어의 이동 방향에 수직인 방향으로 조간 거리의 1/2되는 지점에 방제 지점을 설정하였다. 오더피킹 알고리즘은 작업의 출발점을 최 우측 통로의 아래쪽으로 가정하였기 때문에 스피드스프레어가 과수원에 진입할 수 있는 경로의 수가 많거나, 농가가 과수원의 가운데에 위치하여 있는 경우 등을 고려할 수 없는 단점이 있어 스피드스프레어가 조간을 이동할 수 있도록 과수열의 처음과 끝에 해당하는 과수에 대하여 스피드스프레어의 회전 반경을 고려하여 과수 주변에 3개의 통과 지점을 설정하였고 출발점이 과수원내에 위치할 경우 과수원을 두 부분으로 분할하여 한 쪽에 대하여 먼저 작업을 실시한 후에 나머지 부분은 전반부 작업 부분과 연계하여 작업 경로를 생성하도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 불규칙한 형태의 Field1에서 선택된 일부의 과수들에 대하여 어떤 작업을 해야 할 필요가 있을 때, 기존의 관행적인 방법을 사용하여 이동할 때의 작업 경로를 나타내며, 그림 2는 오더피킹 알고리즘을 응용하여 생성한 작업 경로를 나타낸다.

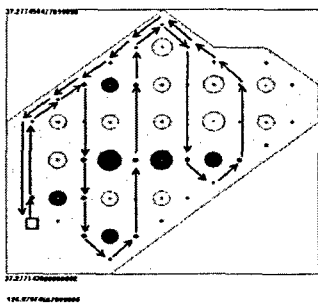


Fig. 1 Shape of the path planned using conventional algorithm.

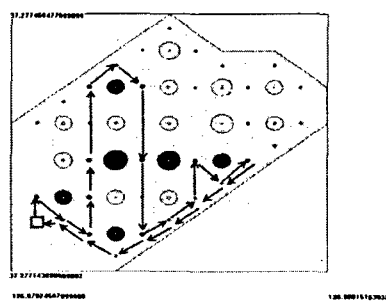


Fig. 2 Shape of the path planned using order-picking algorithm

표 2,3,4는 각각 직사각형 형태의 Field4, 불규칙한 형태의 Field1, Field3에 대하여 생성된 경로의 비교 결과이다.  $l_c$ 는 관습적인 방법을 사용하였을 때의 작업 경로의 길이이고,  $l_o$ 는 개발된 알고리즘을 이용한 작업 경로의 길이이다.  $\Delta l$ 은  $l_c$ 에 대한  $(l_c - l_o)$ 의 비율을 백분율로 표시한 것이다.

Table 2 Total length of the path planned for Field4

Coordinates of starting points		Length of the path		$\Delta l(\%)$
Latitude	Longitude	$l_c$	$l_o$	
37.277197148200003	126.97983025407333	774.3m	774.3m	0
37.277197148200003	126.97988663731333	767.25m	767.25m	0
37.277197148200003	126.97994302355334	770.78m	770.78m	0
37.277197148200003	126.97999940379333	767.25m	767.25m	0

Table 3 Total length of the path planned for Field1

Coordinates of starting points		Length of the path		$\Delta l(\%)$
Latitude	Longitude	$l_c$	$l_o$	
37.277233193699999	126.979779510887	167.5 m	167.5 m	0
37.2771881368	126.979914828773	171.0 m	159.2 m	6.9
37.277278250499997	126.98005014854701	169.0 m	164.3 m	3.6
37.277323307300001	126.980117808434	172.0 m	162.9 m	5.3

Table 4 Total length of the path planned for Field3

Coordinates of starting points		Length of the path		$\Delta l(\%)$
Latitude	Longitude	$l_c$	$l_o$	
37.277233193699999	126.979779510887	163.0 m	160.9 m	1.3
37.2771881368	126.979914828773	188.6 m	170.9 m	9.4
37.2771881368	126.980117808434	181.9 m	166.1 m	8.7
37.277323307300000	126.98018546832	178.8 m	169.3 m	5.3

표 5와 표 7은 각각 직사각형 형태의 Filed4와 불규칙한 형태의 Field1에 있는 과수 중 일부를 선택하여 방제 작업 경로를 생성하였을 때, 적용 알고리즘과 출발점의 위치 변화에 따른 작업 경로 길이의 변화를 나타낸다.

Table 5 Total length of the path planned for Field4.

Coordinates of starting points		Length of the path		$\Delta l(\%)$
Latitude	Longitude	$l_c$	$l_o$	
37.277197148200003	126.97983025407333	774.3m	702.3m	9.3
37.277197148200003	126.97988663731333	767.25m	694.3m	9.5
37.277197148200003	126.97994302355334	770.78m	702.3m	8.9
37.277197148200003	126.97999940379333	767.25m	702.3m	8.5

Table 6 Total length of the path planned for Field1

Coordinates of starting points		Length of the path		$\Delta l(\%)$
Latitude	Longitude	$l_c$	$l_o$	
37.277233193699999	126.979779510887	135.3m	124.0m	8.4
37.2771881368	126.979914828773	134.3m	109.6m	18.3
37.277233193699999	126.97984716888701	145.3m	119.6m	17.7
37.277323307300001	126.980117808434	105.5m	93.9m	11.0

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 과수원과 작업기의 운동 제약 조건이 비슷한 창고 내에서 작업기의 이동 경로를 구하는 알고리즘인 DP를 이용한 오더피킹 알고리즘을 과수원의 상황에 맞도록 응용하여 후진이 가능한 자율주행 스피드스프레이어의 방제 작업 경로를 계획에 사용하였다. 구체적인 결과는 다음과 같다.

- 가. 과수원 전체에 대하여 방제 작업을 실시할 경우, 직사각형 형태의 과수원에 대해서는 기존의 관습적인 작업 방법에 의한 작업 경로와 같은 작업 경로를 생성하였으나 불규칙한 모양의 과수원에 대해서 방제 작업을 실시할 경우 작업 경로 단축 효과를 나타내었다.
- 나. 과수원 내의 과수 일부만을 선택하여 작업을 수행할 경우, 직사각형 형태의 과수원에 대해서도 관행적인 방법에 비해 짧은 작업 경로를 생성함을 확인하였다. 결과적으로 본 연구에서 개발된 프로그램은 형태가 불규칙적인 과수원에서 부분적인 작업을 할 경우에 사용될 경우 보다 큰 작업 경로 감축 효과를 나타내었다.

## 5. 참고문헌

1. 김정호, 김종천, 고광출. 1988. 과수원에 각론. 향문사
2. 서병규. 1993. DP를 이용한 외판원문제에 대한 발견적 해법. 한양대학교 대학원.
3. 이정엽. 1999. DGPS와 GIS를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행. 서울대학교 대학원.
4. 조상욱. 2000. 오더피킹 지원 시스템 개발 및 피킹정책 비교 분석. 건국대학교 대학원.
5. 조성인, 기노훈. 1995. 퍼지논리와 유전알고리즘을 이용한 트랙터-트레일러의 후진제어 시뮬레이션. 한국 농업기계학회지 Vol. 20(1): 87~94.
6. 조종남. 2002. SCM 환경의 창고관리 시스템에서 오더피킹 전략 알고리즘 개발. 인천대학교 대학원.
7. Canning, J. R, D. B. Edwards, M. J. Anderson. 2004. Development of a Fuzzy Logic Controller for Autonomous Forest Path Navigation. Transactions of the ASAE Vol. 47(1): 301~310.
8. Toru Torii. 2000. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan. Computers and Electronics in Agriculture Vol. 25: 133~153.