

원격 정보처리를 이용한 자율주행 트랙터 시스템의 개발

Development of an Autonomous Tractor System Using Remote Information Processing

조도연 조성인
정회원 정회원
D. Y. Cho S. I. Cho

SUMMARY

An autonomous tractor system was developed and its performance was evaluated. The system consisted of a tractor system and a remote control station. The tractor and the remote control station communicated each other via wireless modems. The tractor had a DGPS(differential global positioning system), sensors, a controller and a modem. The DGPS collected position data and the tractor status was estimated. The information of tractor status and sensors was transferred to the remote control station. Then, the control station determined the control data such as steering angles using a fuzzy controller. The fuzzy controller used the information from the DGPS, sensors, and GIS(geographic information system) data. The control data were obtained by remote signal processing at the control station. The control data for autonomous operation were transferred to the tractor controller. The performances of an autonomous tractor were evaluated for various speeds, different initial positions and different initial headings. About 1.3 seconds of time lag was occurred in transferring the tractor status data and the control data. Compensating the time lag, about 27cm deviation was observed at the speed of 0.5m/s and 37cm at the speed of 1m/s. Error caused mainly by the time lag and it would be reduced by developing a full-duplex radio module for controlling the remote tractor.

주요용어(Key Words) : 원격정보처리(Remote information processing), 지구위치 시스템(GPS), 자율주행 트랙터(Autonomous tractor), 퍼지제어기(Fuzzy controller)

1. 서 론

값싼 외국 농산물과의 가격 경쟁과 농업 노동력 부족현상을 해결하기 위하여 다양한 분야에서의 연구가 진행되고 있다. 특히 농업기계의 자율주행 분야가 활발히 진행되고 있으며 정밀농업에 대한 관심도 증가하고 있다. 자율주행을 이용한 농업기계 및 정밀농업에서 사용되는 모니터링 시스템들은 GPS(조성인, 1998, 이정엽, 1999 등), 자이로스

코프(Nagasaka, 1997, 최낙진, 1999 등), 영상처리 장치(최낙진, 1999) 또는 자료 수집 및 기록 장치 등과 이들로써 획득하는 자료들을 처리하기 위한 컴퓨터를 차량에 장치하는 방향으로 많은 연구가 진행되고 있다.

그러나, 현재의 자율주행 시스템들은 전체 시스템을 차량에 장치함으로써 모든 필요한 신호를 농업용 차량에서 처리하여야 하므로 다수의 필요한 장비를 싣고 다녀야 하고 이를 처리할 수 있는 컴

This article was submitted for review in February 2000 and accepted for publication in May 2000.

The authors are Do Y. Cho, Research Assistant, and Seong I. Cho, Associate Professor, School of Bioresources and Materials Engineering, Seoul National University, Korea. The corresponding author is Seong I. Cho, Associate Professor, School of Bioresources and Materials Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea, E-mail: <sicho@snu.ac.kr> .

퓨터도 함께 부착되어야 한다. 또한, 자유주행 중인 차량의 상태나 위치, 속도 등을 나타내는 신호를 모니터링 할 수 없어 유사시의 대처 능력이 부족한 단점이 있다. 여러 가지 계측 신호(DGPS, 초음파 센서, 자이로 센서 등)와 데이터(영상 데이터, GIS 데이터, 퍼지제어기의 입출력 데이터 등)를 근처의 제어소(control station)에서 성능 좋은 컴퓨터로 가공하여 자율주행에 필요한 정보를 얻고, 이를 차량의 조향 및 속도 제어부에 전달하는 원격 정보처리 시스템을 도입한다면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것이다.

자율주행 차량의 상태를 근처의 다른 장소에서 모니터링하기 위해서 차량의 동적 정보를 차량으로부터 제어소까지 전송을 하는 방법은 유선을 통한 방법과 무선을 통한 방법으로 나눌 수 있다. 차량의 동적인 상황에서 유선을 이용한 데이터의 전송은 거의 불가능하므로 무선통신의 방법을 이용해야 한다(Okamoto, 1989).

또한, 포장에서 작업하는 대부분의 농용차량에서 엔진 자체의 특성과 작업 포장의 표면 상태로 인하여 진동이 발생하는데, 여러 가지 장비와 컴퓨터가 진동과 자외선에 노출되어 시스템에 이상이 생기는 문제점들이 발생할 우려가 있다. 그리고, 미래의 부부 중심의 전업농에서는 대규모 단지에 여러 대의 자율주행 차량들이 작업을 하는 경우, 이들 차량을 통합적으로 집단제어(group control)하기 위해서 각 차량의 동적 상태를 모니터링 할 필요가 생기며, 이를 위해 차량과 제어소간의 데이터 및 정보 통신이 필요하게 된다. 여러 대의 자율주행 차량에는 별도의 컴퓨터와 신호처리 장치가 설치되어야 하므로 장비의 중복 투자도 문제가 된다.

이들 문제점을 극복하기 위한 하나의 방법이 차량에는 센서와 구동부, 주행제어에 필요한 최소한의 시스템만을 구성하고 빠른 연산이 요구되거나 방대한 데이터를 저장하는 작업을 차량이 아닌 별도의 제어소에서 수행하고 수행된 결과만을 무선 통신을 이용하여 차량에 전송하여 자율주행 제어를 수행하는 방법이 될 것이다. 그 결과로 자율주행 차량을 위한 제어소를 설치하여 하나의 컴퓨터와 신호처리 장치를 이용하여 동시에 다수의 차량에 대한 정보처리를 수행 할 수 있으며, 필요시 인터넷을 통한 정보 획득 등의 다른 용도로 컴퓨터를 이용할 수 있다.

본 연구에서는 트랙터의 자율주행을 위한 정보처리 작업들의 일부를 트랙터 외부의 별개의 제어

소에서 분할 수행하게 하는 것을 목표로 하며 세부적인 목표는 다음과 같다.

- (1) 무선통신에 의해 제어되는 트랙터 구동 시스템 개발하고,
- (2) 트랙터의 동적 상태 데이터를 수신하고, 주행 제어 정보를 획득하여 트랙터의 구동 시스템에 송신하는 원격 정보처리 시스템 개발하며,
- (3) 자율주행 트랙터 시스템의 직진 주행 성능을 1차적으로 평가한다.

2. 재료 및 방법

가. 시스템 구성

연구에 사용된 자율주행 트랙터 시스템은 그림 1과 같이 원격 트랙터와 제어소로 구성되어 있다. 트랙터는 센서로부터 트랙터의 상태를 감지하여 얻어진 트랙터의 상태 데이터를 적절한 변환을 거쳐 무선 모뎀을 이용하여 제어소로 송신하고, 제어소에서 만들어진 자율주행 정보를 무선 모뎀을 통해 수신하여 적절한 변환을 거쳐 구동부로 보내 트랙터를 제어하는 역할을 한다. 제어소는 원격 트랙터로부터 송신된 트랙터 정보와 자체에 저장된 지리정보, 퍼지제어기를 이용하여 트랙터의 제어값들을 생성하고, 이를 다시 무선모뎀을 통하여 원격트랙터에 송신한다. 제어소는 제어 데이터에 포함된 트랙터 고유번호를 설정함으로써 특정 트랙터를 제어할 수 있게 설계되어 있다.

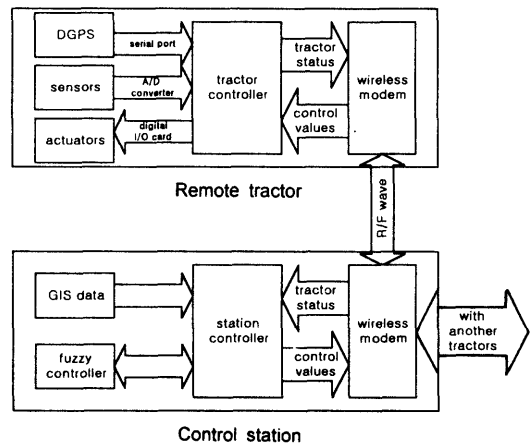


Fig. 1 Schematic diagram of the whole system.

나. 트랙터

본 연구에 사용된 트랙터는 현재 농촌진흥청 농업기계화연구소에서 자율주행 차량으로서 제작중인 L2601-4WD모델(대동)(김상철 등, 1999)을 이용하였다.

구동부는 좌, 우측 브레이크, 클러치, 변속기, PTO, 핸들, 3점 히치의 7개 부분으로 되어 있으며, 원격 트랙터 내의 제어기로부터 생성된 작동기(actuator) 제어신호는 데이터 입출력 장치(Octagon Systems Co.)를 통하여 각각의 유압실린더에 부착된 솔레노이드 밸브를 구동하게 되고, 밸브 개폐에 의해 실린더가 구동되게 되어 있다.

센서부는 구동부 작동기의 위치를 감지하는 부분과 트랙터의 위치를 감지하는 부분으로 구성되어 있다. 작동기의 위치를 감지하기 위하여 각각의 구동부에 전위차계(potential meter)를 부착하였으며, 전위차계에 의해 출력되는 신호는 A/D 변환기(Octagon Systems Co.)를 통하여 디지털 신호로 변환된 후 트랙터 제어기에 보내진다.

좌, 우 브레이크와 클러치는 ON/OFF, 변속기와 PTO는 각각 전진, 후진, 중립과 1, 2단, 중립의 상태로 구분되어 각각의 상태에 대한 A/D 변환값의 최대값과 최소값, 측정오차가 측정되었고 핸들은 우조향 한계와 좌조향 한계에 대해 A/D 변환값 및 측정오차가 측정되었다. 3점 히치장치는 상승한계와 하강한계에 대해 A/D 변환값 및 측정오차가 측정되었다. 조사된 A/D 변환값을 바탕으로 각 작동기가 어떤 상태에 있는가를 판단하였다.

트랙터의 위치를 검출하기 위하여 DGPS 장비가 사용되었으며 이동국의 수신기(Propack II RT-2, Novatel Co.)는 20cm내의 정밀도를 갖고 있으며, 경기도 수원시 농촌진흥청내 농업기계화연구소에 설치되어 있는 고정국(경도 37.27400812, 위도 126.98301750)과의 통신을 위하여 전송속도 19200 baud의 라디오 모뎀(SNRD, GLB co.)을 사용하였다. 고정국도 이동국과 같은 모델의 장비로 구성되어 있으며, 라디오 모뎀을 이용하여 DGPS 데이터 전송형태인 RTCM104(Radio Technical Commission for Maritime Services 104)형태로 보정신호를 이동국으로 보내게 되어 있다.

DGPS 수신기는 RS232 null 모뎀을 가지고 있으며, 이 포트를 트랙터 제어기의 COM2 포트에 연결하여 직렬 통신으로 현재 위치에 대한 정보를 취득하게 하였다. DGPS 수신기는 NMEA1083 형식으로 매 1초 간격으로 위치정보를 보내주게 되

는데, 본 연구에서는 이정엽(1999)이 사용한 NMEA0183 중 RTKA 형식을 사용하였다.

다. 트랙터의 속력 및 자세 추정

본 연구에서 트랙터의 속력과 주행방향(heading)을 검출하기 위하여 위치에 의한 추정 방법을 사용하였다. 트랙터의 제어부는 DGPS에서 수신된 최근 3개의 위치를 저장하고, 최근 2개의 위치데이터를 이용하여 속력을 추정하고, 최근 3개의 위치데이터를 이용하여 주행방향을 추정하였다. 이 방법을 이용하기 위하여 트랙터는 DGPS에 의한 위치수신 시간간격(1초)에 비해 충분히 저속으로 이동한다는 가정을 하여 식(1)에 의해 속력을 추정하였다.

$$V_{est} = \frac{|\vec{P}(t) - \vec{P}(t-s)|}{s} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

- V_{est} : 추정된 속력
- $\frac{\vec{P}(t)}{|\vec{P}(t)|}$: 시간 t 에서의 위치벡터
- $\frac{\vec{P}(t-s)}{|\vec{P}(t-s)|}$: 시간 $t-s$ 에서의 위치벡터

이다.

트랙터의 조향륜이 진행하는 방향인 트랙터의 자세는 트랙터가 그림 2와 같이 최근 경유한 세 점을 원계적을 그리며 통과하였다고 가정하고 식 (2)와 같이 추정되었다.

$$heading = \arctan\left(-\frac{AD_{y-2} - D_{y-1}}{AD_{x-2} - D_{x-1}}\right) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

- x_1, y_1 : 시간 $t-2s$ 에서의 x, y 좌표
- x_2, y_2 : 시간 $t-s$ 에서의 x, y 좌표
- x_3, y_3 : 시간 t 에서의 x, y 좌표
- $D_{x-1} = x_1 - x_3$ $D_{y-1} = y_1 - y_3$
- $D_{x-2} = x_2 - x_3$ $D_{y-2} = y_2 - y_3$
- $A = \frac{D_{x-1}^2 + D_{y-1}^2}{D_{x-2}^2 + D_{y-2}^2}$

이다.

라. 무선모뎀

원격 트랙터와 제어소 사이의 데이터 교환을 위한 무선모뎀 장치는 LAN-R4896(Korea RF Data Co., Korea)을 사용하였으며, 무선모뎀의 사양은 표 1과 같다.

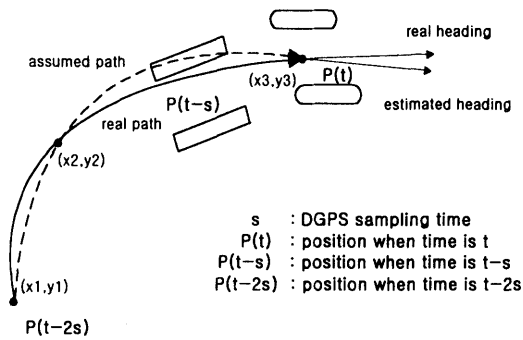


Fig. 2 Heading estimation.

Table 1 General specifications of the wireless modem

Frequency Range	219/224 Mhz
Channel Capability	1CH TX/RX
RF Data Rates	4800bps
DTE Interface	RS-232C(asynchronous)
Operating Temperature	-10℃ ~ 50℃
Power Source	10V DC 300mA
Flow Control	XON/XOFF, RTS/CTS
Service Area	radius 100m ~ 300m

Table 2 Tractor status data

Actuators	Status	Bits Needed to Describe Status
Longitude		32
Latitude		32
Heading	256 steps from 0° ~ 360°	8
Speed	256 steps from 0 ^m /s ~ 10 ^m /s	8
Right Brake	ON, OFF, ON→OFF, OFF→ON	2
Left Brake	ON, OFF, ON→OFF, OFF→ON	2
Clutch	ON, OFF, ON→OFF, OFF→ON	2
Transmission	Forward, Backward, Neutral Forward→Neutral, Neutral→Forward Backward→Neutral, Neutral→Backward	3
PTO	1st, 2nd, Neutral 1st→Neutral, Neutral→1st 2nd→Neutral, Neutral→2nd	3
Handle	60 steps	6
3-point Hitch	5 steps	3
Emergency Status		8

Table 3 Control object values and bits for actuators

Actuator	Control Object Values	Bits Needed to Describe Control Object Values
Right Brake	ON, OFF	1
Left Brake	ON, OFF	1
Clutch	ON, OFF	1
Transmissin	forward, neutral, backward	2
PTO	1st, neutral, 2nd	2
Handle	60 steps	6
3-point Hitch	5 steps	3

무선 모뎀은 RS-232C를 사용하여 트랙터 제어기와 제어소의 주 컴퓨터 COM1에 각각 연결되었다. 무선 모뎀을 이용하여 트랙터 제어기와 제어소 사이에 데이터통신을 할 때, 데이터의 흐름이 무선 모뎀의 버퍼를 초과하여 데이터가 손실되는 것을 방지하기 위하여 XON/XOFF 방식의 흐름제어를 사용하였다.

마. 제어데이터의 구성 및 전송 알고리즘

트랙터의 각 작동기 및 위치, 속도, 자세의 상태를 나타내기 위하여 각 작동기와 트랙터의 상태를 표 2와 같이 구분하였으며, 상태를 기술하기 위해 필요한 비트(bit) 수를 계산하였다.

제어소의 컴퓨터에서 생성된 원격 트랙터에 부착된 여러 작동기의 제어값과 목표값들을 표 3과 같이 선정하고, 제어 목표값들을 기술하기 위해 필요한 비트수를 계산하였다.

표 2과 표 3에서 계산된 상태값, 제어 목표값, 비트 수를 이용하여 그림 3, 그림 4와 같이 트랙터 상태 데이터 패킷 및 제어 목표값 데이터 패킷을 구성하였다. 계산상으로 데이터 패킷의 길이는 14바이트가 소요되지만, 실제 제어소 또는 트랙터 제어기와 무선 모뎀과의 통신에서 XON/XOFF 제어를 사용하게 되므로 제어 데이터에는 XON과 XOFF에 해당하는 두 문자를 사용하지 못하게 된다. 제어 및 상태 데이터가 XON과 XOFF 값을 갖지 않도록 데이터의 길이를 두 배로 늘임으로써 데이터의 값들이 XON과 XOFF와 겹치지 않게 하였다. 따라서, 데이터 필드의 길이는 14바이트의 두 배인 28바이트가 되었다. 트랙터의 상태 및 제

어 목표값 데이터는 길이가 변하지 않기 때문에 데이터 패킷은 고정길이 데이터 패킷을 사용하였다. 그림에서 ()안의 값은 바이트 수를 나타내고 있다.

제어소와 원격 트랙터와의 데이터 교환 알고리즘은 X모뎀 프로토콜을 변형한 알고리즘을 사용하였다. 제어 알고리즘을 개략적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- (1) 트랙터 제어기가 트랙터의 상태를 패킷으로 만들어 제어소에 송신한다.
- (2) 제어소는 트랙터의 상태 정보를 이용하여 제어 목표값 데이터를 만들고, 패킷화하여 송신한다.
- (3) 1~2의 과정을 반복한다.

바. 위치 및 자세 예측

실제 무선통신을 이용한 제어에 있어서 무선모뎀간의 통신소요 시간도 중요한 문제가 된다. 트랙터의 상태를 수집한 후 제어를 시작하기까지 소요되는 시간은 3가지로 나누어 볼 수 있는데, 첫째, 패킷화 된 제어데이터를 제어소로 송신하는 시간 (Δt_1), 둘째, 제어소에서 패킷에서 트랙터의 정보를 추출하고 제어데이터를 구성하여 패킷화하는데 소요되는 시간 (Δt_2), 셋째, 제어데이터 원격 트랙터로 송신하는데 소요되는 시간 (Δt_3)이다. 각각의 소요시간을 측정된 결과 Δt_1 은 약 800ms, Δt_2 는 약 50ms, Δt_3 는 약 500ms 정도가 소요되었다. 즉, 트랙터의 제어는 약 1.3초 전의 상태를 이용하여 이루어져야 하였다.

SOH(1)	ID(2)	comp. ID(2)	latitude(8)	longitude(8)	heading(2)	speed(2)
trans.,PTO,clutch(2)			Rbrake, Lbrake, lift(2)	handle(2)	emergency(2)	CRC(2)

Fig. 3 Tractor status data packet.

SOH(1)	ID(2)	comp. ID(2)	RBrake, LBrake Handle(2)
Trans., PTO, Clutch, Lift(2)		Empty(10)	CRC(2)

Fig. 4 Tractor control object value data packet.

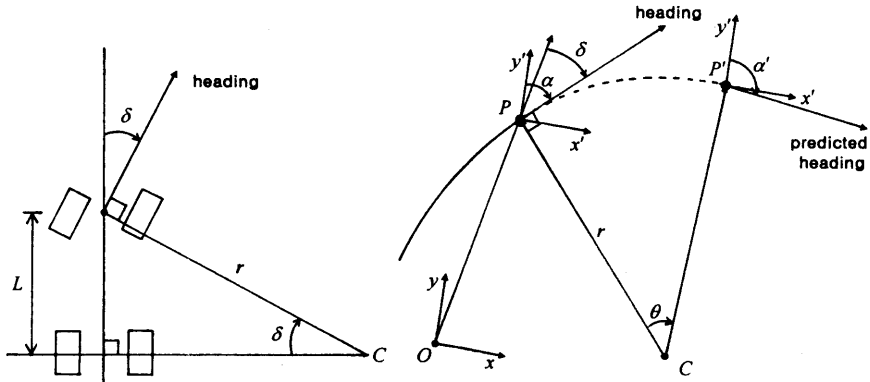


Fig. 5 Position prediction.

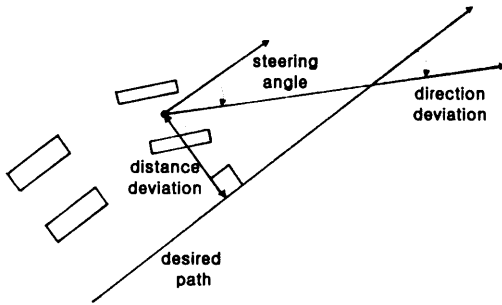


Fig. 6 Fuzzy inputs and output.

이를 극복하기 위하여 제어소에서 제어 데이터를 구성할 때, $\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ 후의 트랙터의 위치와 주행방향을 그림 5와 같이 예측하여 제어하는 방법을 사용하였다. 여기서,

- C : 트랙터의 회전 중심
- L : 트랙터의 축간 거리
- O : global origin
- P : 시간 t 에서의 트랙터의 위치
- P' : 시간 $t + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ 에서의 트랙터의 위치
- α : 시간 t 에서의 트랙터의 자세
- α' : 시간 $t + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ 에서의 트랙터의 자세
- δ : 트랙터의 조향각
- r : 트랙터의 회전 반경

θ : 트랙터가 $\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ 동안 C를 중심으로 회전한 각도

θ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = \frac{v(\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3) \times \sin \delta}{L} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, v는 트랙터의 속력이다. $\vec{P} = (P_x, P_y)$ 는 $\vec{P} = (P_x, P_y)$ 를 이용하여

$$\begin{aligned} \vec{P}' &= \vec{P} + r \angle \left(\alpha + \frac{\pi \sin \delta}{|\sin \delta|} \right) + \\ &\quad r \angle \left(-\alpha - \frac{\pi \sin \delta}{|\sin \delta|} + \theta \right) \\ P_x &= P_x + \frac{L}{\sin \delta} \left\{ \sin \left(\alpha + \frac{\pi \sin \delta}{|\sin \delta|} \right) + \dots\dots (4) \right. \\ &\quad \left. \sin \left(-\alpha - \frac{\pi \sin \delta}{|\sin \delta|} + \theta \right) \right\} \\ P_y &= P_y + \frac{L}{\sin \delta} \left\{ \cos \left(\alpha + \frac{\pi \sin \delta}{|\sin \delta|} \right) + \right. \\ &\quad \left. \cos \left(-\alpha - \frac{\pi \sin \delta}{|\sin \delta|} + \theta \right) \right\} \end{aligned}$$

으로 나타낼 수 있으며(단, $\delta \neq 0$), α' 은

$$\alpha' = \alpha + \theta \dots\dots\dots (5)$$

로 나타낼 수 있다.

사. 퍼지 제어기의 구성

트랙터의 조향각을 제어하기 위하여 퍼지 제어를 사용하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 퍼지 제어기의 입력으로는 예측된 트랙터의 위치와 요구되는 경로와의 거리 편차, 예측된 트랙터의

Table 4 Linguistic fuzzy variable of "Distance Deviation"

LG	LM	LS	CS	RS	RM	RG
Great to the Left	Middle to the Left	Small to the Left	Close	Small to the Right	Middle to the Right	Great to the Right

Table 5 Linguistic fuzzy variable of "Direction Deviation"

LG	LM	LS	PL	RS	RM	RG
Great to the Left	Middle to the Left	Small to the Left	Parallel	Small to the Right	Middle to the Right	Great to the Right

Table 6 Linguistic fuzzy variable of "Steering"

SLG	SLM	SLS	SNC	SRS	SRM	SRG
Steer Greatly to the Left	Steer Middle to the Left	Steer Small to the Left	do not Control	Steer Small to the Right	Steer Middle to the Right	Steer Greatly to the Right

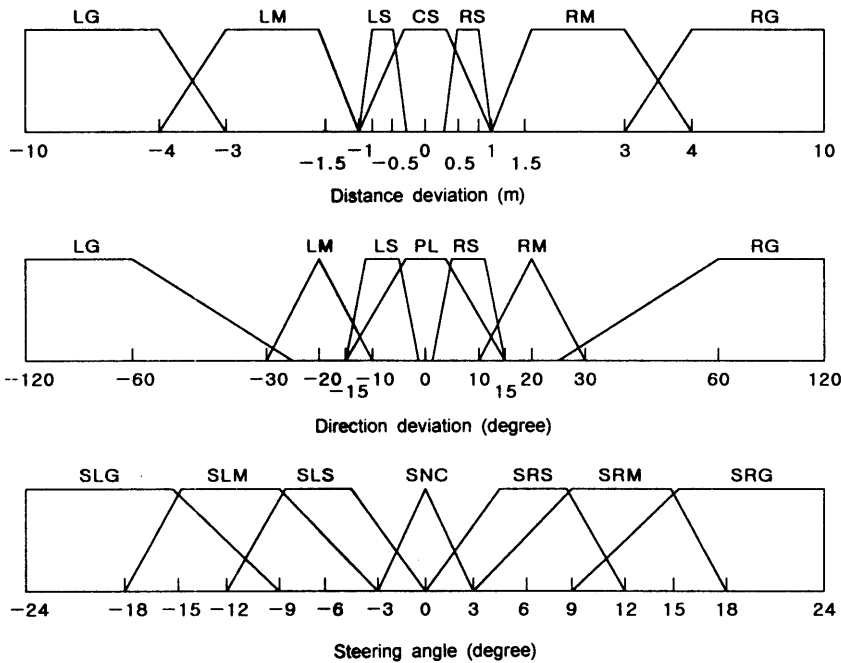


Fig. 7 Membership function of fuzzy variables.

자세와 요구되는 경로와의 방향 편차를 사용하였고, 출력으로는 조향각을 선택하였다.

거리 편차, 방향 편차와 조향각에 대한 퍼지 변수들의 값들을 표 4에서 표 6과 같이 결정하였으며, 모두 27개의 퍼지 규칙을 사용하였다.

퍼지 제어를 위한 각 언어변수의 귀속도 함수는 시뮬레이션을 통하여 가장 제어가 잘 되는 것으로 선택하였다. 선택된 각 언어변수의 귀속도 함수는 그림 7에서 보는 바와 같다.

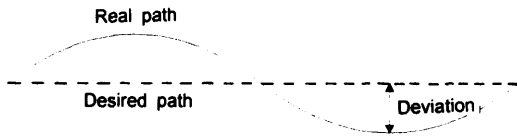


Fig. 8 Deviation from the desired path.

아. 자율주행 성능평가

무선통신을 이용한 트랙터의 자율주행과 기존의 방법에 의한 트랙터의 자율주행의 성능을 비교하기 위하여 요구되는 경로와 실제 트랙터가 주행한 경로를 비교하여, 그 차이를 RMS값으로 계산하는 방법으로 성능평가의 지표를 삼았다. 식(6)과 그림 8는 RMS값을 계산하는 방법을 나타낸다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum deviation^2}{number\ of\ data}} \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

deviation : 이상적인 경로와 실제 주행경로와의 차이

number of data : 수집된 데이터의 수

자. 포장실험

포장실험은 농촌진흥청 기계화연구소 뒤 운동장에서 시행하였으며, 트랙터와 제어소와의 거리는 트랙터의 위치에 따라 10m에서 50m의 거리를 유지하였고, 제어 주기는 트랙터와 제어소와의 교신에 소요되는 시간(약 1.3초)을 고려하여 2초로 하였다. 보통의 포장작업 속도인 0.5m/s와 이보다 조금 빠른 1m/s의 속도에서 초기 위치 편차가 0m일 경우와 1m일 경우에 대하여 직진 주행 실험을 실시하였다. 실험 횟수는 트랙터의 0.5m/s일 경우에 대하여 2회, 1m/s일 경우에 대하여 1회 실시하였다. 주행은 직선주행만을 실시하였고 주행거리는 30m로 하였다.

3. 결과 및 고찰

트랙터의 속력이 0.5m/s인 경우의 초기 거리 편차가 0m인 경우와 거리 편차가 1m인 경우의 진행 거리에 따른 주행 경로 오차는 각각 그림 9에서 그림 10과 같다. 실선과 점선은 자기 다른 2회를 의미한다.

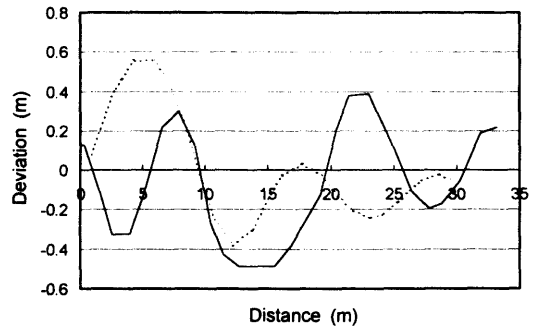


Fig. 9 Path generation at initial distance deviation of 0m and speed of 0.5 m/s.

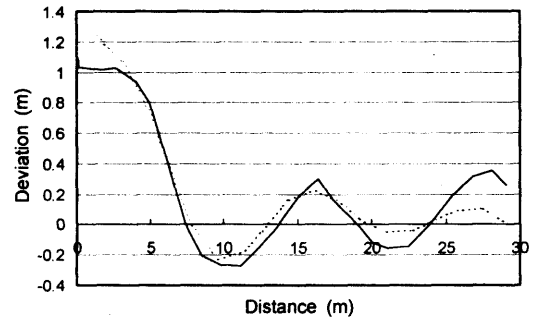


Fig. 10 Path generation at initial distance deviation of 1m and speed of 0.5 m/s.

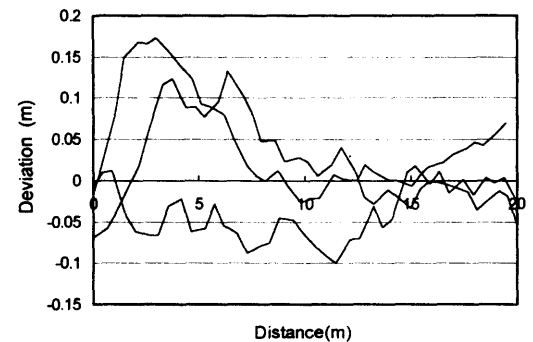


Fig. 11 Path generation with the remote control at initial distance deviation of 0m and speed of 0.5m/s using existing autonomous tractor (national agricultural machinery and research institute[8]).

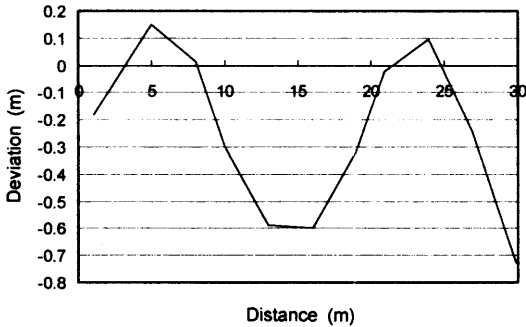


Fig. 12 Path generation at initial distance deviation of 0m and speed of 1m/s.

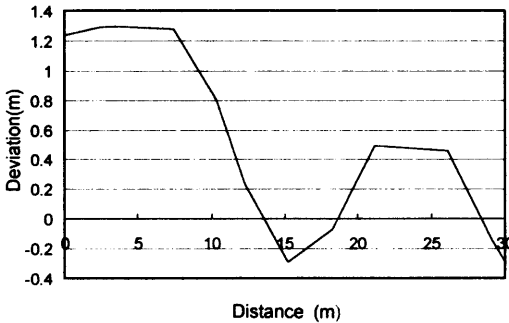


Fig. 13 Path generation at initial distance deviation of 1m and speed of 1m/s.

트랙터의 속력이 0.5m/s인 경우 초기 위치 편차와 초기 방향 편차가 없을 경우의 RMS값은 약 27.6cm였다. 초기 위치 편차가 1m일 경우에는 초기의 위치 편차에 의해 RMS가 52.1cm로 크게 나타났으나, 트랙터가 안정적인 궤도로 진입한 약 6m 이후에는 RMS가 약 22.0cm로 초기 위치 편차가 없을 경우와 거의 같은 값을 나타내었다.

무선통신을 이용하지 않은 기존의 자율주행 트랙터 시스템으로 초기 위치 편차 0m, 속력 0.5m로 3회 실험한 경우(그림 11)(김상철 등, 1999)의 RMS는 약 6cm로 무선통신을 이용한 경우의 RMS가 약 4.5배 정도 크게 나타났다. 이는 트랙터와 제어소와의 데이터 교환시간 지연에 의해 미세한 제어가 곤란하여 발생한 것으로 보인다.

트랙터의 속력이 1m/s인 경우의 주행경로 오차는 그림 12와 그림 13가 같다. 초기 거리 편차가

0m인 경우 RMS값은 약 37.5cm이고, 초기 거리 편차가 1m인 경우 RMS값은 약 70cm였다. 이러한 편차는 무선 통신에 소요되는 시간지연이 1.3초이고, 이를 고려한 2초의 무선제어 간격이 트랙터 속도에 비해 크기 때문에 나타난 것으로 보인다.

4. 요약 및 결론

자율주행에 필요한 여러 가지 신호와 정보를 원격 제어소에서 처리함으로써 신호처리 장치와 컴퓨터의 효율성을 높이고, 여러 가지 장치와 트랙터의 부착을 최소화하고, 진동과 자외선에 노출되어 성능저하를 방지하며, 포장에서 작업중인 트랙터를 동적 모니터링하기 위하여 원격 정보처리에 의해 제어되는 자율주행 트랙터 시스템을 개발하였다. 시스템은 원격 트랙터와 무선제어를 위한 제어소로 구성되어 있으며 상호간의 통신은 9,600 bps의 무선모뎀으로 실시하였다. 제어 데이터와 트랙터의 상태 데이터는 패킷으로 제작되어 X modem protocol로써 전송하였으며, 트랙터의 상태 데이터 전송과 제어 데이터 전송에 소요되는 시간으로 인하여 약 1.3초의 시간지연이 발생하였다. 트랙터는 DGPS 신호에 의해 위치를 측정하고 최근 경과한 위치와의 상대적인 차이로써 속도와 방향을 계산하였으며, A/D 변환기에 의해 작동기의 상태를 검출하여 제어소에 트랙터의 상태를 송신한 후 트랙터 제어 데이터를 받아 트랙터를 제어하도록 구성하였다. 제어소는 트랙터의 상태를 수신하고, 자체에 저장되어 있는 지리정보와 퍼지 제어기 및 통신에 소요되는 시간을 고려하여 요구되는 작동기의 위치를 계산하여 트랙터 제어기에 송신하도록 구성하였다.

무선 통신에 의한 트랙터의 주행 성능을 측정하기 위해 직선주행에 대해 포장 실험을 하였다. 보통의 포장작업 속도인 약 0.5m/s의 속력에 대해 초기의 위치 및 방향 편차를 적용하여 실험을 한 결과 트랙터가 안정된 궤도에 진입한 후에는 요구되는 궤도에서 약 25cm에서 30cm 안팎의 편차를 보였으나 1m/s의 속도에서는 RMS가 최대 70cm 정도까지 나타났다. 이는 포장 작업과 같은 저속에서는 원격 정보처리에 의한 자율주행이 가능할 것으로 판단되나, 비교적 고속에서는 무선통신에 의해 발생하는 시간지연에 의해 오차가 증가하였다.

무선통신간 발생하는 시간지연 원인 중의 하나

가 송수신의 전환에 소요되는 시간인데, 이는 송신부와 수신부가 각각 분리되어 있는 트랙터 제어 전용의 2중 채널 무선 모듈을 제작함으로써 어느 정도 개선이 가능할 것이다. 또한, 본 연구에서 트랙터의 방향을 검출하기 위해 DGPS를 이용하여 트랙터가 경유한 최근 세 점의 위치를 측정하여 추정하였는데 DGPS의 정밀도가 떨어지거나 DGPS의 수신이 불량할 경우 자세 추정이 불가능할 경우가 발생하였으며, 포장 작업과 같은 슬립이 많이 발생하는 경우 자세 추정 오차가 커지는 문제점이 발생하였다. 이는 지자기 센서 등의 별도의 자세검출용 센서를 사용함으로써 보완할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Tsuguo Okamoto, Osamu Kitani, Ikjoo Jang. 1989. A monitoring System for Tractor Operations with Digital Radio Communication. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery Vol. 51(4):5-13.
2. 조성인, 이재훈, 이정엽. 1998. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행 - 실제 주행 -. 한국농업기계학회 동계학술대회. 498-504.
3. Klassen N. D., R. J. Wilson and J. N. Wilson. 1994. Guidance Systems for Agricultural Vehicles. Proceedings of XII World Congress on Agricultural Engineering, International Commission of Agricultural Engineering, CIGR. pp. 1136-1142.
4. Nagasaka, Yoshisada., Ryuji Otani, Kazuto Shigeta and Ken Taniwaki. 1997. Automated Operation in Paddy Fields with a Fiber Optic Gyro Sensor and GPS.
5. 최낙진. 1999. 기계시각과 지자기센서를 이용한 트랙터의 자율주행. 서울대학교 석사학위 논문.
6. 이정엽. 1999. DGPS와 GIS를 이용한 스피드스프레어의 자율주행. 서울대학교 석사학위 논문.
7. 김상철, 박우풍, 정인규, 정선옥, 황성준. 1999. 자율주행을 위한 트랙터 제어장치 개발. 한국농업기계학회 동계학술대회. 704-712.