

컴퓨터 시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행⁺

Autonomous SpeedSprayer using Computer Vision and Fuzzy Logic

최창현*, 조성인**, 이강운*, 기노훈**

정희원, 정희원, 정희원, 정희원

C.H. Choi, S.I. Cho, K.U. Lee, N.H. Ki

1. 서론

방제작업자를 농약에서 보호하는 방법은 주로 보호장비의 착용에 의하여 이루어져왔다. 이 경우 보호장비를 착용한다 하더라도 작업자에 대한 농약의 피해를 완전히 줄일 수는 없다. 또한, 농약은 피부에 접촉하게 되면 피부 안으로 즉시 침투하는 특성이 있으므로, 작업자의 농약으로부터의 보호는 매우 중요하다. 농약의 피해를 줄이기 위해서는 반드시 보호장비를 착용하여야 하며, 가장 좋은 방법은 사람이 작업을 하는 것이 아니라 스피드스프레이어가 무인으로 작업을 하는 것이다.

본 연구는 영상처리장치, 전자식 컴퍼스, 초음파 센서를 퍼지제어기와 결합한 스피드스프레이어의 무인주행을 위하여 수행되었으며, 구체적인 목적은 다음과 같다.

1) 영상처리(image processing)와 전자식 컴퍼스(electronic compass), 초음파 센서를 이용하여 과수원에서 스피드스프레이어의 현재 위치와 상태를 파악하는 알고리즘을 개발한다.

2) 위 결과를 바탕으로 과수원에서 스피드스프레이어의 실제 자율주행이 가능함을 입증한다.

2. 재료 및 방법

2.1 자율주행 시스템의 구성

자율주행 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 스피드스프레이어의 조향을 위한 소프트웨어는 퍼지제어기가 담당을 하게 되며, 영상처리, 전자식 컴퍼스와 초음파 센서가 퍼지제어기의 입력으로 사용된다. 영상처리 결과는 직진시의 주행방향이고, 전자식 컴퍼스의 방위값은 선회시의 주행방향이며, 초음파 센서의 정보는 초음파 센서와 장애물과의 거리이다. 제 5권의 입력은 스피드스프레이어의 직진 주행거리를 측정하여 직진과 선회의 구분을 위하여 사용되었다.

본 연구에서는 자주형스피드스프레이어(Korea, SS-500WHU, (주)한성농산)를 작업모델로 사용하였으며, 기체는 3180×1255×1275mm (길이×폭×높이)의 크기에 두개의 레버로 좌우의 조향이 가능하며, 세 쌍의 바퀴로 주행한다.

2.2 영상처리 시스템

실험에서 직진시의 직선주행 방향결정을 위하여 영상처리 장치(U.S.A., Image Tech. Co., PC Vision Plus Frame Grabber)와 흑백카메라를 사용하였다. Frame Grabber는 흑백 영상처리장치로서 512×512의 해상도를 가지며, 영상처리를 위한 함수들을 제공하여 MS-C와 같이 컴파일 하

+ 이 연구는 한국 농업기계학회 연구비 지원으로 수행된 것임.

* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과

** 서울대학교 농공학과 농업기계

여 사용하도록 되어있다.

2.3 전자식 컴퍼스

전자식 컴퍼스의 모듈(U.S.A., Precision Navi. Co., TCM 2)에는 통신 애플레이터를 내장하고 있으므로 EEPROM의 모드 초기화로서 마이크로 컴퓨터의 RS-232C 직렬 포트(Serial Port)와 연결하여 자료를 입·출력할 수 있고, 전자식 컴퍼스 모듈의 EEPROM을 아날로그 모드로 설정하면 전자식 컴퍼스는 방위각을 0 ~ 5V의 아날로그 신호로 출력한다.

2.4 제 5륜

본 연구에서는 스피드스프레이어의 직선 이동거리를 측정하기 위하여 스피드스프레이어의 후부에 로터리 인코더를 포함하고 있는 제 5륜(U.S.A., Nucleus Co., NC 8)을 부착하여 주행속도 및 주행거리를 측정하였다.

2.5 유압 시스템

스피드스프레이어의 조향장치는 두 개의 레버에 의하여 작동하며, 레버의 작동을 대신하기 위한 유압 시스템은 크게 두 개의 복동 유압 실린더, 두 개의 3-port-4-way (closed center type) 방향제어 밸브, 한 개의 릴리프 밸브와 유압 펌프로 구성되어 있다. 방향제어 밸브는 마이크로 프로세서에서의 신호를 이용하여 유압의 방향을 제어하기 위하여 솔레노이드 밸브를 사용하였다. 이 밸브의 작동에 의하여 두 개의 실린더가 앞, 뒤로 움직이며 스피드스프레이어의 레버의 기능을 할 수 있게 하였다.

2.6 초음파 센서

초음파의 신호는 퍼지제어기의 입력으로 사용되며, 스피드스프레이어의 전·후, 좌·우에 모두 4개가 사용되었다. 실험에서는 초음파 센서를 구동하고 거리 측정을 위한 카운터 부를 위하여 PCB를 제작하여 사용하였다.

2.7 퍼지제어기

퍼지제어기의 입력변수로는 영상처리 결과인 직진 주행방향, 전자식 컴퍼스의 방위값인 선회 주행방향과 초음파 신호 4개가 사용되었다. 출력변수는 유압실린더의 이동 시간으로 유압 실린더는 왼쪽과 오른쪽 실린더가 각각 독립적으로 작동하도록 하여 서로 다른 언어변수를 갖도록 하였다. 영상처리 결과와 전자식 컴퍼스, 초음파 신호, 유압 실린더의 작동시간에 대한 언어변수(표 1, 표 2, 표 3)와 그에 해당하는 귀속도함수(그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림 5)를 나타내었다. 본 연구에서 사용된 총 규칙수는 직진을 위하여 13개, 선회를 위하여 14개의 퍼지 규칙을 사용하였다.

2.8 과수원의 형상 및 주행 성능 평가

2.8.1 과수원의 형상

본 실험은 서울대학교 농업생명과학대학부속 과수원에 있는 밤나무 과수에서 수행되었으며, 스피드스프레이어의 진행방향을 기준으로 가로 폭은 5m 이고 재식 간격은 6m 로 스피드스프레이어가 이동하는 직선 길이는 35m 이며, 선회 길이는 7.85m이다. 과수 사이의 경로는 굽은 모양이 없이 과수가 일직선으로 심어져 있다.

2.8.2 주행 성능 평가

스피드스프레이어의 주행성능을 평가하기 위하여 이상적인 경로와 퍼지제어기에 의하여 만들어진 경로를 비교하였다. 이상 경로와 실제 주행경로와의 차이를 수치로 나타내기 위하여, 제어 간격에 따른 RMS 값을 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(\sigma)^2}{\text{number of data}}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, σ : 이상적인 경로와 실제 주행과의 차이

number of data : 수집된 데이터의 수

주행성능 평가의 다른 방법으로는 스피드스프레이어가 퍼지제어기에 의하여 실제로 주행하면서 이상적인 경로와의 사이에 만든 공간의 면적과, 스피드스프레이어가 주행 가능한 공간의 면적의 비를 비교하였다. 실제 제어기에 의하여 만들어질 수 있는 궤적이 위치할 수 있는 가능 공간으로서, 직진시의 면적은 133 m^2 ($3.8 \text{ m} \times 35 \text{ m}$) 이고, 선회시의 면적은 22.12 m^2 이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 영상처리를 사용한 직선 자율주행

초음파 센서의 입력을 받아들이지 않고 영상처리한 결과만을 퍼지제어기의 입력으로 하여 스피드스프레이어를 직선주행시켰다. 실제 과수원에서는 2 km/hr 의 속도로 방제작업을 하지만, 너무 빠르고 과수와의 충돌의 위험을 피하기 위하여 1.54 km/hr 의 속도로 실험을 하였다.

RMS값과 면적비를 구하기 위해 퍼지제어기에 의해 만들어진 궤적과 이상적인 경로와의 거리차를 1 m 간격으로 측정하여 데이터를 수집하였다. 그림 6, 7은 영상처리만을 사용하였을 때 제어간격 4초와 1.5초에 대하여 수집된 데이터를 각각 나타낸 것이다.

표 4, 5는 영상처리만을 사용했을 경우에 대한 RMS 값과 오차에 대한 면적의 비를 각각 나타낸 것이다. 제어 간격에 따른 RMS 값을 비교하면 제어 간격이 짧을 수록 RMS 값이 작음을 알 수 있으며, 스피드스프레이어가 지나가는 면적의 비도 제어 간격이 짧은 것이 더 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 제어 간격을 1.5초로 할 경우 이상적인 경로에서부터 최대 64 cm 벗어나는 것으로 측정되었으며, 과수원의 주행방향의 폭이 5 m 인 것을 감안할 때 과수원의 주행방향 폭의 25% 이내에서 스피드스프레이어가 주행할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 스피드스프레이어의 폭이 124 cm 인데 이에 대한 오차의 비율도 50% 이내임을 알 수 있었다.

이상의 결과에서 제어 간격이 짧을 수록 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 초음파 센서의 입력이 없이 퍼지제어기가 영상처리 결과만으로 스피드스프레이어의 직선주행이 가능함을 알 수 있었다.

3.2 영상처리와 초음파 센서를 사용한 직선 자율주행

퍼지제어기의 입력으로서 영상처리 결과와 초음파 센서를 함께 사용하여 실험하였다. 그림 8 과 9는 각각 제어 간격이 4초와 1.5초에 대하여 영상처리 결과와 초음파 센서를 함께 사용한 경우의 스피드스프레이어의 직선주행을 나타낸 것이다. 위의 결과에 대한 RMS 값과 오차에 대한 면적비는 표 6, 7과 같다. 제어 간격을 1.5초로 했을 때 이상적인 경로와의 최대 차이는 72 cm 였는데, 이러한 결과는 영상처리 결과만을 사용한 경우보다 좋지 않은 결과로서 초음파 센서가 과수의

늘어진 가지나 잎을 장애물이나 과수로서 잘못 인식하기 때문인 것으로 판단된다.

날씨나 실험시간, 과수에 잎의 많고 적음은 영상처리 결과에 잡음을 유도했다. 실제로 영상처리를 하면, 주행경로를 파악하는데 여러 가지 잡음으로 인하여 인간이 판단할 수 있는 정확한 값은 찾아낼 수가 없었다. 그러나, 실험에서 퍼지제어기를 이용하여 영상처리 결과를 입력으로 받아들인 경우 이러한 제약에 덜 민감한 반응을 보였다.

3.3 전자식 컴퍼스와 초음파 센서를 사용한 선회 자율주행

전자식 컴퍼스 TCM 2 모듈에 내장된 EEPROM의 모드는 RS 232C를 통한 직렬 인터페이스와 아날로그 신호의 병렬 인터페이스에 의한 신호의 송·수신이 가능하다. 직렬 인터페이스에 의한 선회주행은 병렬 인터페이스에 비하여 데이터의 송수신에 시간지연이 발생하며, 인터럽트를 사용하므로 병렬입출력 장치인 초음파 구동 드라이브와 충돌을 일으키므로 직렬 입출력에 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위하여 전자식 컴퍼스 TCM 2의 모드를 아날로그로 설정한 후, 아날로그 출력단으로부터 아날로그 신호를 인터페이스하였다.

그림 10, 11은 각각 전자식 컴퍼스와 초음파 센서의 직렬 및 병렬 인터페이스에 의한 나무열 중심선을 기준으로 초기 위치 2.5m 기준선으로부터의 선회주행의 결과를 나타내었다.

표 8에서 직렬 인터페이스에 의한 선회주행의 RMS 값은 초기위치 2.2m에서 35.88cm이며, 2.8m에서 38.00cm로 나타났다. 병렬 인터페이스에 의한 선회주행의 RMS 값은 초기위치 2.5m에서 16.88cm로 직렬 인터페이스에 비하여 RMS 값이 감소하였다. 또한, 오차 면적비도 감소함을 알 수 있었다. 자주형 스피드스프레어의 분무 특성상 노즐의 분무방향 조절이 자유로우므로 주행 가능 면적의 50%이하에서는 분무가 가능하다. 자동주행시스템을 이용한 스피드스프레어의 직선주행이나 선회주행에서 나타난 RMS 값과 오차 면적비를 고려할 때, 스피드스프레어는 약제 살포에 필요한 거리를 유지하며 과수원을 자동주행하고 있음을 알 수 있었다. 선회 주행에 있어 직렬 인터페이스에 의한 주행보다 아날로그 인터페이스에 의한 주행의 RMS 값과 면적 오차비가 작은 것으로 나타났고, 이는 선회 주행시 데이터 수집 시간에 있어 아날로그 인터페이스가 직렬 인터페이스보다 짧아 선회 주행의 세밀한 조향 조작이 가능한 결과로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 스피드스프레어의 무인주행을 위하여 수행되었으며, 제어를 위하여 퍼지제어기를 사용하였다. 퍼지제어기는 영상처리에 의한 직진시의 주행방향과 4개의 초음파 센서 신호와 제 5륜으로부터 직진 주행거리를 직선 주행을 위한 입력으로 받으며, 전자식 컴퍼스에 의한 스피드스프레어의 자세와 위치 결과와 초음파 센서 신호를 선회 주행 입력으로 받고, 유압 실린더의 작동시간을 각각의 추론 결과로 가진다. 이를 위하여 영상처리 장치와 전자식 컴퍼스, 유압 시스템, 제 5륜을 구성하였으며, 초음파 센서 모듈을 제작하였다.

직선 자율주행에 있어 제어 시간을 짧게할수록 RMS 값과 오차 면적비가 감소함을 알 수 있으며, 직선 주행에 있어 초음파 센서는 스피드스프레어의 자율주행성능을 향상시키지 못했지만, 초음파 센서를 사용함으로써 과수에 부딪히는 위급한 상황에서 스피드스프레어가 과수를 피할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

선회 자율주행에 있어 전자식 컴퍼스의 직렬 인터페이스에 비하여 아날로그 인터페이스가

RMS 값과 면적 오차비가 현저하게 감소함을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 김창수, 최규홍, 김성태, 문영봉. 1992. 보행 이양기를 위한 무선자동제어 시스템의 개발 (1). 한국농업기계학회지. Vol. 17 (1). pp 45-54.
2. 최창현, 1990. 위치 측정장치를 이용한 트랙터의 자동주행장치. 한국농업기계학회지. Vol. 15 (2). pp 79-87.
3. Blackmore, B. S. and Steinhauser, T. 1993. Intelligent Sensing and Self-Organizing Fuzzy Logic Techniques Used in Agricultural Automation. ASAE, Paper No. 931048, Summer Meeting.
4. Fehr, B. W. and Garrish, J. B. 1995. Vision-Guided Row-Crop Follower. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 11 (4). pp 613-620.
5. Kamada, H. and Yoshida, M. 1992. A Visual Control System Using Image Processing and Fuzzy Theory. Springer-Verlag New York. pp 111-128.
6. Klassen N. D., Wilson R. J., and Wilson J. N. 1994. Guidance Systems for Agricultural Vehicles. Proceedings of XII World Congress on Agricultural Engineering, International Commission of Agricultural Engineering, CIGR. pp 1136-1142.
7. Li, Y. and Wilson, J. N. 1994. Development of An Intelligent Steering Control Algorithm for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance. ASAE Paper No. 943513, Winter Meeting.
8. Smith, B. S., Steinhauser, T. 1993. Intelligent Sensing and Self-organizing Fuzzy Logic Techniques used in Agricultural Automation. ASAE Paper No. 931048. Summer Meeting.
9. Toda, M., Kitani, O., Okamoto, T., and Tori, T. 1993. Studies on Autonomous Vehicles for Agricultural Robotics. ASAE Paper No. 933091, Summer Meeting.
10. Upchurch, B. L., Tennes, B. R., and Surbrook, T. C. 1983. A Microprocessor-Based Steering Controller. Trans. of ASAE Vol. 26 (1), pp 29-32

Table 1. Linguistic variables of input "Image" and "Compass"

MD	LT	RT
MiDdle	LeFT	RighT

Table 2. Linguistic variables of "Ultrasonic input"

FA	MD	SH
FAR	MiDdle	ShorT

Table 3. Linguistic variables of "Operating time of hydraulic cylinder"

LL	LM	LS	NP	RS	RM	RL
Left Long	Left Medium	Left Short	No oPeratoin	Right Short	Right Medium	Right Long

Table 4. RMS values using image processing only

Cycling time	Number of trials	RMS values (cm)
4.0 sec	1	42.17
	2	52.62
1.5 sec	1	38.39
	2	25.29

Table 5. Ratio of area using image processing only

Cycling time	Number of trials	ratio of area (%)
4.0 sec	1	9.67
	2	12.34
1.5 sec	1	9.43
	2	5.72

Table 6. RMS values using image processing and ultrasonic sensors

Cycling time	Number of trials	RMS values (cm)
4.0 sec	1	42.82
	2	44.76
1.5 sec	1	33.26
	2	25.45

Table 7. Ratio of area using image processing and ultrasonic sensors

Cycling time	Number of trials	ratio of area (%)
4.0 sec	1	10.52
	2	11.30
1.5 sec	1	7.97
	2	5.68

Table 8. RMS and ratio of area using electronic compass and ultrasonic sensors

Initial Point (m)	Mode setting	RMS value (cm)	Ratio of area (%)
2.2 m	Digital	35.88	13.26
2.8 m		38.00	13.18
2.5 m	Analog	16.88	5.29

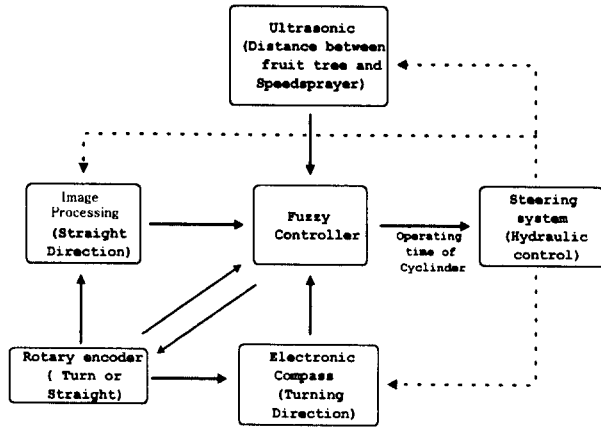


Fig. 1. Structure of autonomous guidance system

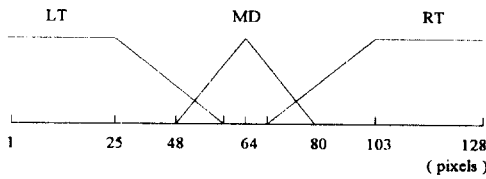


Fig. 2. Membership functions of "Image processing"

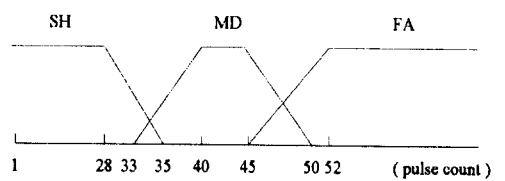


Fig. 3. Membership functions of "Ultrasonic input"

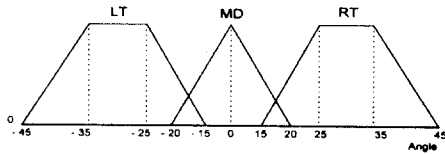


Fig. 4. Membership functions of "Compass input"

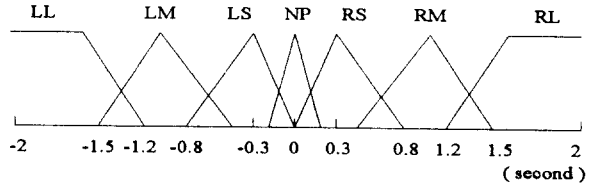


Fig. 5. Membership functions of "Operating time of hydraulic cylinder"

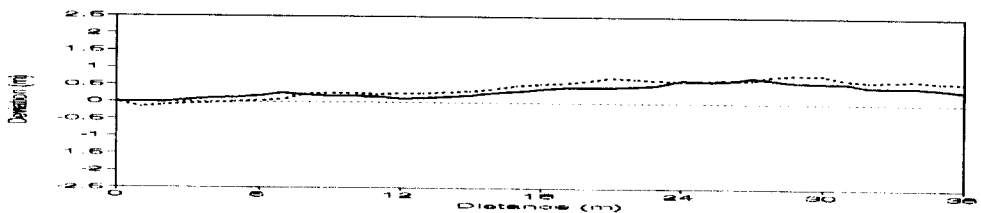


Fig. 6. Deviation using image processing only (cycling time : 4 sec)

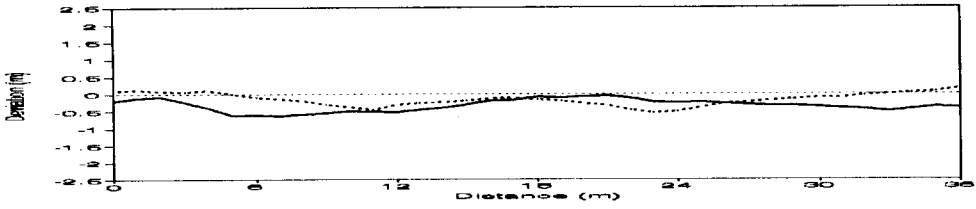


Fig. 7. Deviation using image processing only (cycling time : 1.5 sec)

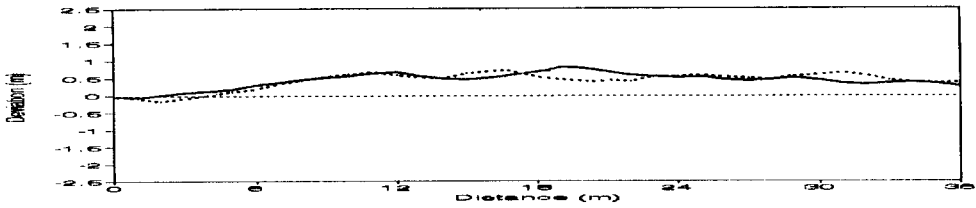


Fig. 8. Deviation using image processing and ultrasonic sensors (cycling time:4 sec)

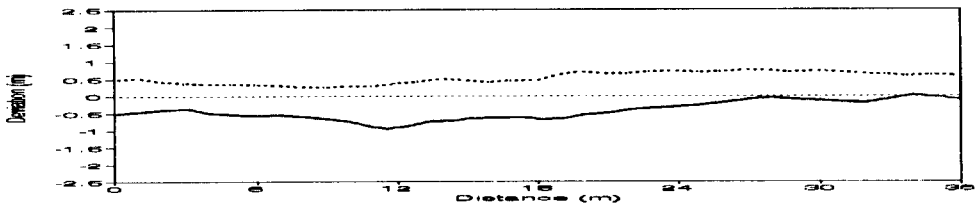


Fig. 9. Deviation using image processing and ultrasonic sensors (cycling time:1.5 sec)

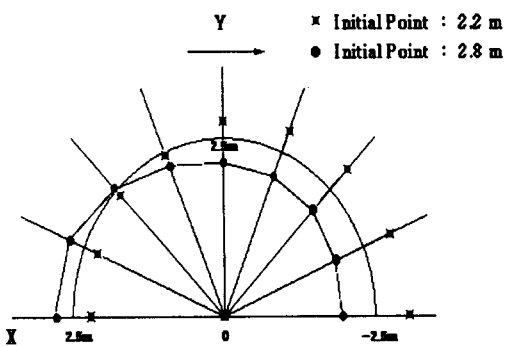


Fig. 11. Turning test by serial interface

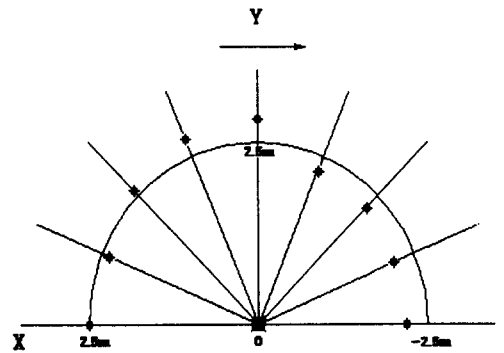


Fig. 10. Turning test by analog interface