

技術論文

무인 운항 시스템의 주행안전을 위한 충돌회피 시스템과 알고리즘 개발

윤득선*, 임하영*, 유환신*, 김정하*

Collision Avoidance Algorithm and System Development for Unmanned Driving Safety of All Terrain Vehicle

Duk Sun Yun*, Ha Young Lim*, Hwan Sin Yu* and Jung Ha Kim*

ABSTRACT

In this paper, unmanned vehicle system and VFF algorithm development with vehicle dynamics is the main topic as a part of Intelligent Transportation System. Unmanned vehicle system is classified by vehicle system and control system. Authors used RC servo motor for longitudinal control via throttle angle, shift lever control, and brake control. For lateral control, authors used step motor, equipped with reduction gear. Unmanned vehicle has nine ultrasonic sensors in front of the unmanned vehicle. After the microcontroller computes the distance between unmanned vehicle and obstacle, the control computer calculates the steering angle enough to avoid the obstacle.

초 록

본 논문에서는 보다 빠른 속도의 무인주행과 이를 가능케하는 안전한 항법구현에 주력하여 시스템을 개발하고 알고리즘을 적용한 결과를 보이고 있다. 또한 본 논문에서는 9개의 초음파 센서를 사용하여 가상역장 알고리즘을 적용한 험로주행용 차량의 무인주행에 적용한 시스템의 구성과 적용방법을 기술하고 실차실험을 통한 시스템의 성능과 향후 연구방향을 제시하였다.

Key Words : All Terrain Vehicle(험로용 차량), VFF(가상역장), Unmanned Vehicle(무인 자동차), Ultrasonic Sensor(초음파 센서)

1. 서 론

항공기나 자동차와 같은 시스템의 개발추세가 고성능, 고기능화로 초점이 맞추어짐에 따라 자동차의 안정성이 더욱 중요해지고 있으며 선진 연구소에서는 차량의 안전장치와 더불어 사고를 사전에 방지하는 능동적 안전(Active Safety)기술 개발에 관한 연구에 총력을 기울이고 있다.

또한, 충돌 및 회피 시스템은 충돌이 발생할 수 있는 상황에서 경보를 발생하고, 필요 시 제동장치를 제어하여 차량을 멈추게 하거나 선회하도록 하여 차량의 안전을 향상시키는 능동 안전 시스템이다.

외국에서의 연구는 미국, 유럽연합, 일본 등의 국가가 선두주자라 할 수 있으며 미국에서는 ITS America, NAHSC 등의 조직을 구성하여 교통사고나 문제해결을 위한 시스템을 구축해 나가고 있으며 일본은 VICS (Vehicle Information and Communication System), AHSRA와 같은 조직 등을 이용하고 있다. 독일 등의 유럽 국가에서는 공동으로 참여하는 PROMETEUS 프로젝트를 추

† 2005년 4월 11일 접수 ~ 2005년 8월 19일 심사완료

* 정회원, 국민대학교 자동차전문대학원

연락처, E-mail : autocars@chol.com

서울 성북 정릉동 861-1 국민대학교 공과대 110호

진하고 있다.^{3,5)}

본 논문에서는 험로를 주행할 수 있도록 설계된 차량을 기본으로 하여 무인주행 시스템을 구축하고 주행 안전을 확보하기 위한 장애물 회피용 VFF(Virtual Force Field) 알고리즘을 개발하고 초음파 센서로 이를 검증하였으며 장애물을 회피할 수 있는 조향각을 산출하여 DAQ보드로 전송하고 이를 구동하는 시스템을 제안하였다.

II. 본 론

2.1 무인차량의 기본설계

Fig. 1에서는 150cc 4행정 엔진과 CVT 미션을 가진 ATV(All Terrain Vehicle) 차량을 보이고 있다. 브레이크 시스템으로는 전륜에 드럼 방식, 후륜에 디스크 브레이크를 가지고 있으며 전체 무게는 172kg이다.

2.1.1 무인차량의 제어 시스템

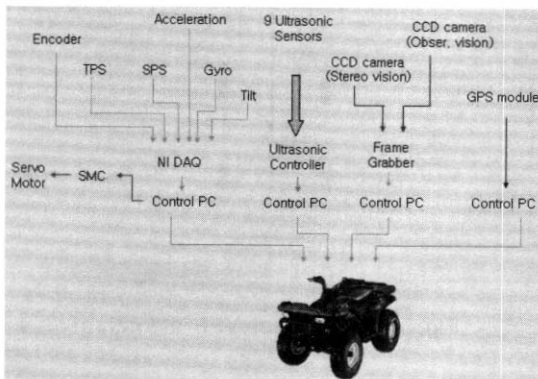


Fig. 1. Concept of unmanned vehicle system using ATV

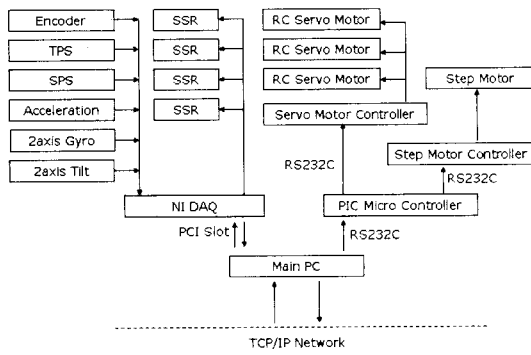


Fig. 2. Concept of unmanned vehicle system using All Terrain Vehicle

무인화 차량의 제어 시스템은 크게 종방향과 횡방향 제어 시스템으로 구분할 수 있다. Fig. 2에서는 종방향, 횡방향의 제어 시스템을 구성하는 요소를 보이고 있다. 종방향 제어에는 엔진 트로틀 밸브의 각도 제어와 변속 기어의 위치제어, 그리고 제동장치의 위치제어가 필요하며 횡방향 제어에는 조향축의 각도제어가 필요하다.

2.1.2 종방향 제어 시스템

본 논문에서 사용한 차량은 전, 후진용 변속레버를 가지고 있어 트로틀 밸브와 변속레버, 제동장치를 이용하여 종방향 시스템을 구성하였다.

Fig. 3에서는 트로틀 밸브 각도 제어용 액추에이터와 CVT 변속기 제어용 액추에이터의 장착된 모습을 보이고 있다. 제동은 작동하는데 상대적으로 적은 힘을 필요로 하는 후륜의 유압식 제동장치를 이용하였다. 모두 RC 서보모터를 이용하여 텐던 방식으로 PIC 마이크로 컨트롤러를 이용하여 위치제어를 수행하였다.

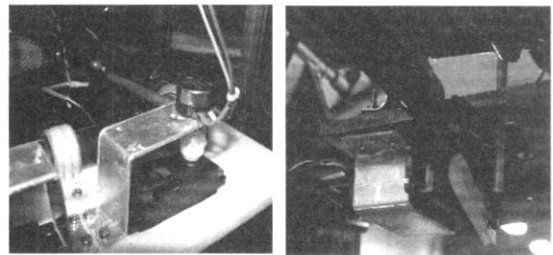


Fig. 3. Throttle actuator and CVT control actuator

2.1.3 횡방향 제어 시스템

본 논문에서는 Fig. 4에서 보이는 것과 같이 횡방향 제어를 위해서 대형 스텝모터를 사용하였다. 이 스텝모터는 1:10의 감속기를 가지고 있어 조향을 하는데 충분한 힘을 가지고 있으므로 조향축과 직접 연결하였다. 스텝모터를 구동하기 위한 컨트롤러로는 PIC 마이크로 컨트롤러를 사

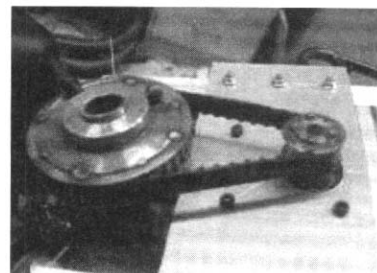


Fig. 4. Step motor and column for steering control

용하였고 PC와 통신을 통해 제어하였다. 또 조향각을 측정하기 위해 조향축 아래 부분에 로터리 포텐쇼미터를 장착하여 현재의 조향각을 측정할 수 있다.

2.2 센서 시스템

무인화 차량 전방의 장애물을 감지하기 위하여 초음파 센서를 사용하였다. 차량 전방으로부터 장애물까지의 최소 정지거리를 50[cm]라고 규정하여 전방에 9개의 초음파 센서를 장착하고 PIC 마이크로 컨트롤러를 이용하여 제어하였다.

각 센서로부터 측정된 거리 정보를 센서 제어용 PC로 전송하면 센서 제어용 PC는 장애물 회피 알고리즘을 통하여 안전한 주행을 위한 개선된 차량의 속도와 조향값을 Main PC로 전송한다. 아래의 Fig. 5는 이러한 센서 시스템과 신호의 흐름을 보이고 있다.

3.1 장애물 회피 알고리즘

본 논문에서 제작한 시스템과 같이 초음파 센서를 2개 이상 동시에 구동하기 위해서는 스위칭 작용을 해주는 IC가 필요하므로 74HC4066 아날로그 스위칭 디바이스를 사용하여 시스템을 구성하였다. 아래의 Fig. 6은 차량 전면에 부착된 9개의 초음파 센서와 센서내부를 보여주고 있다.

본 논문에서 장애물을 검출하여 회피하기 위해 구축한 알고리즘은 VFF(Virtual Force Field) 방식이며 이 알고리즘은 무인차량 주위의 장애물의 유무를 확률적인 방법으로써 표현하여 장애물이 존재할 확률이 높은 지역을 선회함으로써 장애물과의 충돌을 회피하는 자율주행 알고리즘을 구성하였다.

VFF(Virtual Field Force) 알고리즘은 Fig. 7에서 보이는 바와 같이 무인차량이 미지의 환경을 주행할 경우에 무인차량과 장애물 사이에는 척력

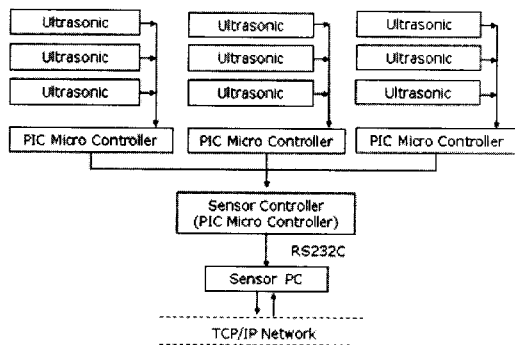


Fig. 5. Configuration of ultrasonic sensor system

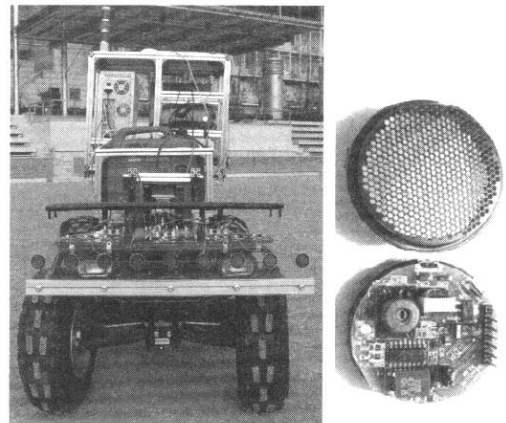


Fig. 6. Ultrasonic sensor on mounting of ATV

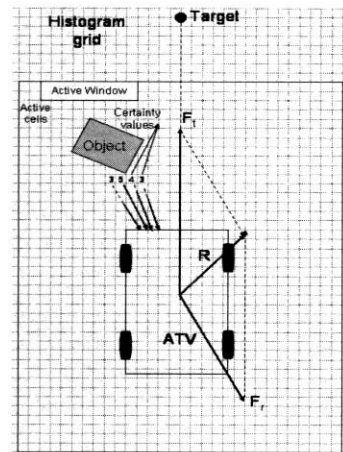


Fig. 7. Concept of VFF algorithm

(Repulsive Force)이 작용하고 무인차량이 주행해야 하는 목표 지점과는 인력(Attractive Force)이 작용한다는 것이 기본 개념이다.

무인차량이 주행하여야 하는 주위 환경은 활성창(Active Window; 본 논문에서는 10×10 [cm²])로 분할되어 표시되고 이 셀은 무인차량이 주행하면서 장애물을 인식하는 기본단위로 사용된다. 그러나 주변의 모든 영역을 고려하여 주행할 경우에는 주행 경로를 생성하는데 많은 시간이 소요되므로 장애물 감지 영역을 제한하는 활성창의 개념을 두어 신호처리 할 영역을 제한시켜 이동 경로를 생성하게 된다. 활성창의 영역은 무인화 차량의 크기와 장애물 회피 시 충돌 회피 궤적을 고려하여 설정하게 되는데 이를 크게 설정하는 경우에는 주행의 신뢰성은 확보되지만 초음파 센서 검색 시간과 알고리즘 연산이 증가하여 많은 시간이 소요된다.

또한 초음파 센서가 차량의 전면에만 있기 때문에 활성화의 크기는 차량 전면으로부터 30×40 (즉, 3×4[m²])의 의미가 된다.) 영역의 셀을 벗어난 영역에 대해서는 고려하지 않는다. 각 셀에서 발생하는 척력은 아래의 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$F_r = \sum_{i,j} F_{r(i,j)} \quad (1)$$

여기서, $\sum_{i,j} F_{r(i,j)}$ 은 센서에 의해 검출된 장애물 각각의 위치에서 가해지는 척력이고, 이는 식(2)와 같이 셀과 무인차량 사이의 거리의 제곱에 반비례하는 수식으로 표현된다.

$$F_r = \frac{F_{cr}C(i,j)}{d(i,j)} \left[\frac{x_r - x_0}{d(i,j)} \bar{x} + \frac{y_r - y_0}{d(i,j)} \bar{y} \right] \quad (2)$$

여기서 F_{cr} 은 척력의 상수, $C(i,j)$ 은 확률값의 확실성 레벨을 의미하며 $d(i,j)$ 은 장애물과 무인차량 사이의 거리, x_0, y_0 는 무인차량의 현재 좌표, x_r, y_r 는 장애물의 좌표를 의미하며 \bar{x} 와 \bar{y} 는 축방향의 단위벡터를 의미한다. 또한 식 (2)에서 $\left[\frac{x_r - x_0}{d(i,j)} \bar{x} + \frac{y_r - y_0}{d(i,j)} \bar{y} \right]$ 는 크기와 방향을 가진 벡터 성분을 나타내고, 이 과정에서 장애물이 무인차량에 가하는 척력은 거리 d 에 반비례한다. 즉, 장애물과의 거리가 가까울수록 척력은 강해지고 거리가 멀면 척력은 약해지게 된다.

무인차량이 이동하는 동안 목표지점은 일정한 크기의 힘을 작용한다. 이 때 무인차량을 당기는 인력 F_i 는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$F_i(i,j) = F_{ci} \left[\frac{x_r - x_0}{d(i,j)} \bar{x} + \frac{y_r - y_0}{d(i,j)} \bar{y} \right] \quad (3)$$

여기서 F_{ci} 는 인력 상수를 의미한다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 무인차량과 목적지의 거리에 의한 인력 F_i 는 거의 영향이 없으며 방향에만 영향을 받는다. 최종적으로 무인차량의 주행 경로를 결정하는 합력 R 은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$R = F_r + F_i \quad (4)$$

즉, 무인차량은 물체가 밀어내는 힘과 목표점이 끌어당기는 힘의 합성된 방향으로 전진하게 된다. 따라서 인력의 크기에 비례하여 속도값을 증가시키며 인력의 방향으로 조향하며 척력의 크기에 따라 속도값을 줄이고 척력이 감소하는 방

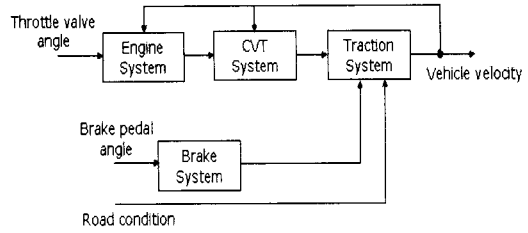


Fig. 8. Longitudinal control model

향으로 조향값을 생성하는 장애물 회피 알고리즘으로부터 구해진 차량의 종방향 속도와 횡방향 조향값을 토대로 차량의 주행방향과 주행속도를 Fig. 8과 같은 시스템을 통하여 제어할 수 있다.

본 논문에서 사용한 무인차량의 엔진의 제어 요소로서는 트로틀 밸브의 각과 그것을 조절하는 RC서보모터의 각이 있다. V_0 를 트로틀 입력각 θ_0 에 대한 정상상태 차량속도라 하자. 또한 속도 V 와 V_0 로부터 $\bar{V} = V - V_0$ 라고하고 트로틀 각 θ 와 θ_0 로부터 $\bar{\theta} = \theta - \theta_0$ 라고 한다.

(θ, V_0) 근처에서의 비선형 종방향 차량모델을 사용하여 차량속도에 대한 트로틀 각에 대한 식을 근사화하여Laplacian으로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$\frac{\bar{V}}{\bar{\theta}} = \frac{b}{s+a} \quad (5)$$

여기서 b, a 는 V_0 에 따라 변한다. 외란항 d 를 고려한 모델은 다음 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\bar{V}} &= -a\bar{V} + b\bar{\theta} + d \\ \dot{V} &= -a(V - V_0) + b\bar{\theta} + d \end{aligned} \quad (6)$$

차량에서 사용한 브레이크는 후륜의 유압 구동식 디스크 브레이크 시스템이다. 이 브레이크 시스템을 제어하기 위한 모델은 다음 식 (7)로 근사화 할 수 있다.

$$\dot{V} = \frac{1}{M}(-c_1 T_b - f_0 - c_2 V - c_3 V^2) \quad (7)$$

여기서 T_b 는 브레이크 토크, M 은 차량의 질량, $c_1 T_b$ 는 브레이크의 제동력, f_0 는 정적 마찰력, $c_2 V$ 는 롤링 마찰력, $c_3 V^2$ 은 공기의 저항력이다. 브레이크 액추에이터의 모델은 다음 식 (8)과 같이 기술할 수 있다.

$$T_b = \alpha \theta_{actuator} \quad (8)$$

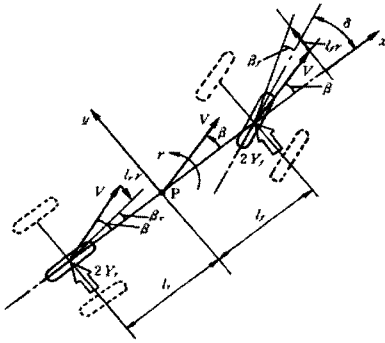


Fig. 9. Bicycle model

차량의 조향제어모델은 가장 기본적으로 사용하는 모델 중 2자유도 모델인 bicycle 모델을 사용하였다. 이 모델은 실제차량과의 대응은 충분하지 않지만 차량의 주행성능 파라미터의 값이 변함에 따른 영향과 같은 차량의 기본적인 특성을 분석하는데 유용하다. Fig. 9는 차량 2자유도 모델인 bicycle 모델을 보여준다. 이 모델을 기본으로 차량의 운동방정식을 구하면 다음 식 (9), (10)과 같다.

$$mV \frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + \left\{ mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r) \right\} r = 2K_f \delta \quad (9)$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r)\beta + l \frac{dr}{dt} + \frac{2(l_f^2 K_f - l_r^2 K_r)}{V} r = 2l_f K_f \delta \quad (10)$$

여기서, K_f 와 K_r 는 전륜과 후륜의 스프링 상수이며 l_f 와 l_r 는 무게중심에서 전륜과 후륜축까지의 거리를 의미한다. 또한 β 는 차량의 진행방향을 나타내고 δ 는 차륜의 진행방향을 나타내며 r 는 차량의 요우 속도를 의미한다.

이 식을 바탕으로 차량의 횡방향 제어를 위해 차량의 요 각속도를 구하면 식 (11)이다.

$$r = \left(\frac{1}{1 - \frac{M}{2l^2} \frac{l_f K_f - l_r K_r}{K_f K_r} V^2} \right) \frac{V}{l} \delta \quad (11)$$

차량의 옆 미끄럼 각은 식 (12)와 같다.

$$\beta = \left(\frac{1 - \frac{M}{2l} \frac{l_f}{l_r} V^2}{1 - \frac{M}{2l^2} \frac{l_f K_f - l_r K_r}{K_f K_r} V^2} \right) \frac{l_r}{l} \delta \quad (12)$$

식(11)과 (12)를 이용하여 차량의 횡방향 가속도를 구하면 식(13)과 같다.

$$a_y = V(\beta + r) = \frac{1}{1 - \frac{M}{2l^2} \frac{l_f K_f - l_r K_r}{K_f K_r} V^2} \frac{V^2}{l} \delta \quad (13)$$

3.2 주행실험 및 알고리즘 검증

각각의 시스템이 원활히 동작하는지를 확인하기 위하여 가속과 제동 시에 무인차량의 엔진속도와 차량의 속도관계를 알아보았다. 또한 초음파 센서를 구동하여 차량 전방에 장애물이 있을 때 거리를 측정하고 실제로 장애물을 회피할 수 있는지 회피능력을 테스트하였다. Fig. 10은 조향각 제어 실험을 한 결과 그래프이다. 아래의 그래프에서 실선은 외부에서 인가한 조향각 나타내고 점선은 무인차량에서 센서를 통해 계측한 조향각을 나타낸다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 외부에서 조향을 조작했을 때 무인차량의 조향각이 핸들 각도에 맞춰 약 400~500[ms]의 지연시간을 가지며 추종하는 것을 볼 수 있다.³⁾

다음 실험은 가속 상황에서의 엔진 회전 속도와 CVT 미션 출력축의 회전 속도를 측정하였다. Fig. 11은 전진 상태에서 가속을 하였을 때 엔진

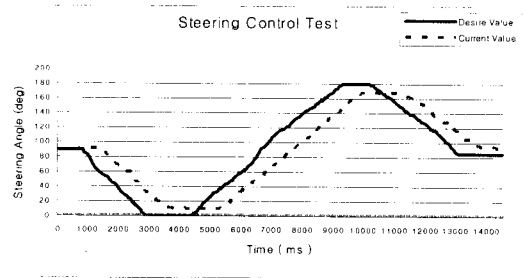


Fig. 10. Result of steering control test

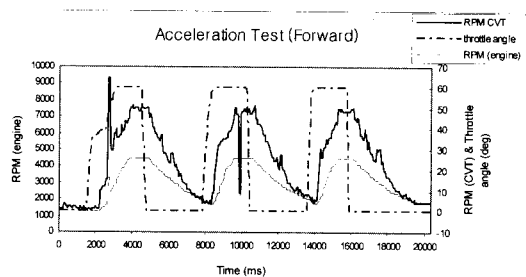


Fig. 11. Result of acceleration test

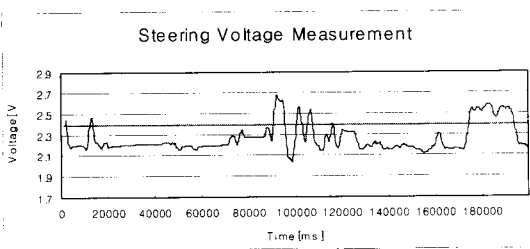


Fig. 12. Steering voltage measurement

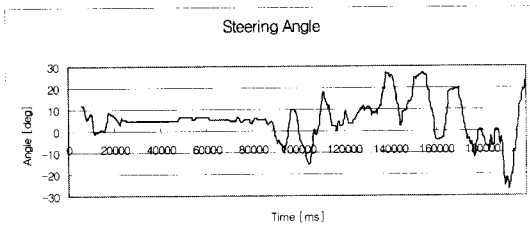


Fig. 13. Steering angle by VFF algorithm

과 CVT 미션의 반응을 나타낸 결과이다. 즉, 가속 페달이 0~60도 사이에서 변화 시켰을 때 엔진의 회전수 변화와 그에 따른 CVT 출력축의 회전수의 변화를 나타내었다. 가속 페달이 변화하면서 엔진에 부착된 트로틀 액추에이터가 작동을 하고 트로틀 각이 변화하면서 엔진 회전수가 결정이 된다. 가속페달을 밟은 후 약 300[ms] 후에 엔진 회전수가 증가를 하고 가속 페달을 최대로 밟았을 때 약 4500 [rpm]으로 엔진이 회전하였다. 그리고 변속기의 출력은 0~50[rpm]까지 변화하였다. Fig. 12는 차량 전방에 장애물이 있을 경우에 단순히 출력되는 조향축의 출력전압의 변화를 보이고 있으며 Fig. 13은 VFF 알고리즘을 통해 장애물을 판정하여 계산된 조향각을 나타낸 그래프이다.

무인차량의 안전을 고려하여 조향범위를 -30~30°로 제한하였고 이에 따라 전압값의 범위도 1.9~2.9[V]로 제한하였다. VFF 알고리즘을 통해 계산된 조향각을 전압값으로 변환하여 출력하였으며 그래프에서 보듯이 실제로 DAQ에서 출력된 전압값과 알고리즘을 통해 계산된 조향각의 전압 차이가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 약 450[ms]까지는 전방에 물체가 감지되지 않다가 450[ms] 이후부터 장애물이 감지되어 조향 전압값이 변함을 알 수 있었다. 또한 Fig. 12와 Fig. 13을 비교해 보면 거리 변화에 따른 조향각의 변화와 전압출력 특성이 서로 일치함을 알 수 있었다. 초기 80,000[ms]까지를 예로 들면,

+조향각이 측정되었고 이는 왼쪽 초음파 센서에서 장애물을 검출하여 차량은 1.9~2.4[V] 사이의 계산된 전압값을 출력하였다.

III. 결 론

본 연구에서는 ATV의 무인주행을 위해 장애물 회피 알고리즘으로써 VFF 방법을 이용하여 차량 전방으로부터 장애물까지의 거리를 측정하여 차량이 장애물을 회피하기 위한 조향값과 차량 속도를 계산하고 이를 통하여 무인화 차량의 주행 안정성을 확보하는 시스템을 구성하였다.

VFF 알고리즘을 이용한 결과, 시스템의 조향 특성이 비례적인 제어방식보다 신뢰성있게 조향값을 생성해주며 확률함수를 통하여 진행속도를 예측, 조정할 수 있으므로 인해 안정성이 보다 확보되었다고 사료된다.

그러나 본 연구를 수행하면서 초음파 센서한 개당 한 개의 Ranging Module을 사용함으로 인하여 프로세서 한 개당 처리하는 3개의 초음파 센서를 구동하는데 1초 정도로 긴 시간이 걸려 데이터 처리 속도가 느리므로 한 개의 Module로 여러 개의 센서를 구동하는 방법을 연구 수행 중에 있다. 또한, 카메라를 이용하여 차선이 없는 도로에서도 주행이 가능하고 GPS 모듈과 정밀한 레이저 스캐너를 통해 완벽히 자율 주행이 가능한 무인차량시스템의 개발이 요구된다.

후 기

이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-Doc. 연수지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) J. Borenstein, Y. Koren, "Tele-autonomous Guidance for Mobile Robots", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No. 6, 1990, pp. 1437-1443.
- 2) E. Y. Park, Design of Obstacle Detection and Avoidance Algorithm for Unmanned Vehicle System using ATV, Master Thesis of Kookmin Univ., 2004.
- 3) DukSun Yun, WoonSung Lee, JungHa Kim, "The Control System Modeling and Experiment for the Tele-Operated Unmanned Vehicle", KSME International Journal Vol. 16, No. 10, 2002, pp. 1253-1263.

4) DukSun Yun, JungHa Kim, ChanMook Kim, "A Research about Development of Gyro Controller System for the Car navigation and Black-Box System", *Journal of Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 7, 1999.

5) Sung-Ho Chang, Jea-Seok Ohu, Jung-Jin Lee, Joong-Wook Kim, Sam-Ok Koo, and Chan-Hong Yeom, "The Evaluation on Flying Characteristics of a Long Endurance UAV", *한국항공우주학회지*, 제23권 제3호, 1999, pp. 91-96.