

충돌회피 및 차선추적을 위한 무인자동차의 제어 및 모델링

Unmanned Ground Vehicle Control and Modeling for Lane Tracking and Obstacle Avoidance

유환신*, 김상겸**

Hwan-Shin Yu*, Sang-Gyum Kim**

요 약

무인 자동차 시스템에 있어 차선추적과 물체회피 기술은 중요한 핵심기술 이다. 본 논문에서는 차량제어와 모델링, 센서 실험을 통하여 차선추적 및 물체회피 방법을 제안하고자 한다. 첫 번째 물체회피는 가/감속을 위한 종 방향 제어와 조향제어에 의한 횡 방향 제어 두 개의 부분으로 구성되어 진다. 각각의 시스템은 무인자동차의 제어를 위하여 차량의 위치, 주변환경 인식, 상황에 따른 빠른 처리를 요구한다. 차량의 제어 전략이 작동되는 동안 도로에서의 물체인식과 회피는 차량의 속도에 달려 있다. 두 번째 영상시스템을 통한 차선추적방법을 설명한다. 이 또한 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 횡/종 제어를 위한 로도 모델이 포함된다. 두 번째 차선추적방법, 영상처리 알고리즘, 필터링 방법 및 영상처리 방법을 다룬 것이다. 마지막으로 본 논문에서는 실차 실험을 통한 차선추적 및 물체회피 차량제어 및 모델링 방법을 제안한다.

Abstract

Lane tracking and obstacle avoidance are considered two of the key technologies on an unmanned ground vehicle system. In this paper, we propose a method of lane tracking and obstacle avoidance, which can be expressed as vehicle control, modeling, and sensor experiments. First, obstacle avoidance consists of two parts: a longitudinal control system for acceleration and deceleration and a lateral control system for steering control. Each system is used for unmanned ground vehicle control, which notes the vehicle's location, recognizes obstacles surrounding it, and makes a decision how fast to proceed according to circumstances. During the operation, the control strategy of the vehicle can detect obstacle and perform obstacle avoidance on the road, which involves vehicle velocity. Second, we explain a method of lane tracking by means of a vision system, which consists of two parts: First, vehicle control is included in the road model through lateral and longitudinal control. Second, the image processing method deals with the lane tracking method, the image processing algorithm, and the filtering method. Finally, in this paper, we propose a method for vehicle control, modeling, lane tracking, and obstacle avoidance, which are confirmed through vehicles tests.

Key words : Unmanned Ground Vehicle, Obstacle Avoidance, Lane Tracking,

* 호원대학교 자동차기계공학과 (Division of Automotive mechanical Eng. Howon University)

** 국민대학교 자동차대학원(Kookmin University)

· 제1저자 (First Author) : 유환신

· 접수일자 : 2007년 10월 8일

I. 서 론

무인차량 시스템에 대한 연구는 지난 수십년 동안 전 세계적으로 관심을 가지고 연구해 오고 있다. 특히, 자동차 회사, 학교 및 국공립 연구소 등에서 이러한 연구에 투자하고 있으며, 또한, 이러한 연구는 군사적, 지형맵핑, 위험한 환경 및 차량안전등 다양한 부분에 응용할 수 있다[1],[2]. 무인자동차에 대한 연구는 최근에 사회 인프라에도 밀접한 관계가 있으며, 미래를 위한 커다란 잠재력을 가지고 있다. 전력, 제어, 매니플레이터 및 센서 시스템은 무인차량의 기본 요소이다. 본 논문에서는 차량동역학 모델, 제어방법 및 물체인식, 회피 알고리즘을 주로 다룰것과 정확성 및 민감도를 요구하고 차선추적 방법에 대하여 설명할 것이다. 대부분의 무인자동차는 차량의 안정성과 핸들링을 위하여 다양한 센서들을 사용한다. 그러므로 본 논문에서도 조향센서, 초음파센서, 레이저 스캐너, 속도센서 및 비전센서 등 다양한 센서를 사용하였다. 그리고 무인차량에 있어 물체회피 및 차선추적은 중요한 기술들이다. 이러한 기술들은 크게 두 분야로 나뉘어진다. 첫 번째 차량의 움직임에 따라 차량의 가/감속을 제어하는 종 방향 제어이다. 차량의 가/감속 제어를 위하여 DC 모터를 사용하고 DC 모터제어기와 페루프 PID 제어기를 설계하였다. 두 번째로 차량의 구동에 따른 조향입력 횡 방향 제어이다. 차량의 횡 방향 제어를 위하여 자이로 센서, 엔코더, 비전 시스템을 사용하였다. 본 논문의 2장에서는 무인 차량의 종/횡 방향 제어에 대하여 다루었으며, 3장에서는 도로에서의 유연한 차량 동작을 위한 센서 측정기술 및 최적화 방법에 대하여 설명하였다. 4장에서는 차량 실험 평가 데이터와 방법 결과를 설명하였다. 최종적으로 차량 실험과 시뮬레이션을 통하여 구동 및 조향제어를 위한 차량 모델링을 수행하였다.

II. 무인차량을 위한 차량제어 시스템

2-1 종 방향 제어

본 논문에서 차량의 종 방향 제어는 모터와 브레이크 제어에 의하여 조작된다. 모터 구동 시스템은 디지털 신호 처리와 D/A 변환기에 의한 아날로그 신호 변환에 따른 모터의 입력 전압에 의하여 제어되고 [3], 차량의 속도는 바퀴에 장착된 홀 센서로부터 신호를 받아 제어하게 된다.

2-1-1 구동시스템 모델링

그림 1은 차량의 종 방향 제어를 위한 구동부 시스템의 모델링과 모터의 구동 회로도를 보여주며, 종 방향 제어를 위하여 DC모터 모델링을 수행하였다 [4]-[7].

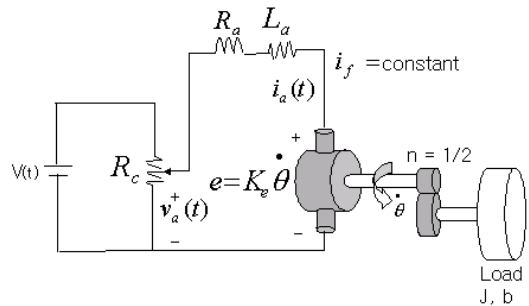


그림 1. 구동시스템 모델링
Fig. 1. Wire model of driving system.

그림에서 $v_a(t)$ 는 등가회로 전압 $V(t)$ 에 비례적으로 제어된다. 여기서 $i_a(t)$ 는 아마추어 전류, R_a 는 전기저항, L_a 는 전기기전력, e 는 유도 역기전력을 의미한다.

그림 1로부터 뉴 우튼, 키로호프 법칙의 기본 방정식은 다음 식 1과 같다.

$$T = k_t i_a = J \frac{d\dot{\theta}}{dt} + b\dot{\theta} \tag{1}$$

여기서 J 는 모터의 관성모멘트 b 는 기계시스템의 댐핑율, k_t 는 아마추어 상수이다. 일반적으로 전 기전압은 자석 회전에 따라 자석속도와 각 속도에 의

해 비례적으로 전도된다. 그러므로 e 는 식 2와 같은 방정식의 회전속도와 관계가 있다.

$$e = k_e \dot{\theta} \quad (2)$$

그림 1에서 전압 방정식은 다음의 식 (3), (4)으로 나타낼 수 있다.

$$V(t) = k_a v_a(t) \quad (3)$$

$$v_a(t) - e = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (4)$$

여기서 전기자 저항 R_a 와 역기전력 상수 k_e 는 일정하고, 모든 초기 조건들은 0으로 가정하면 다음 식들과 같이 라플라스 변환식을 구할 수 있다.

$$V(s) = K_a V_a(s) \quad (5)$$

$$V_a(s) - K_e s \Theta(s) = (R_a + L_a s) I_a(s) \quad (6)$$

$$E(s) = K_e \Theta(s) \quad (7)$$

$$T = K_t I_a(s) = s(Js + b) \Theta(s) \quad (8)$$

역기전력의 영향은 DC 모터의 속도에 비례하여 커지게 되고 이는 모터의 속도를 감소시키는 역할을 하기 때문에 피드백 신호와 같은 역할을 한다. 따라서 역기전력은 시스템의 유효한 감쇠효과를 증가시키고 입력에 대한 출력 $V(s)$, $\Theta(s)$ 의 관계식으로 나타내면 다음 식 (9)과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{k_a k_t}{(R_a + L_a s) + (Js + b) + k_t k_e} \quad (9)$$

상태공간 형태로부터 위의 방정식들은 입력에 의한 전압과 상태변수의 전기 전류와 같은 회전 속도로 표현할 수 있다. 따라서 출력의 회전 속도는 다음 방정식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} V \quad (10)$$

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix}$$

그림 2는 위 식들에서 얻어진 전달함수에 근거한 시스템 블록선도를 보여준다.

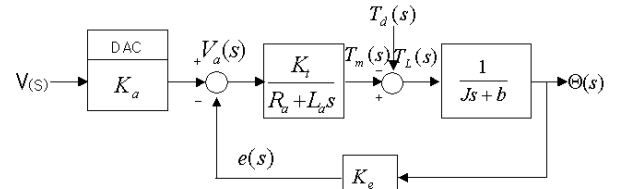


그림 2. 구동시스템의 페루프 블록선도
Fig. 2. Closed-loop block diagram of driving system.

모터 회전체의 관성 J , 전기자 내부저항 R_a , 전기 인덕턴스 L_a 값들을 위한 정확한 값은 매개 변수에 값을 대입하여 전달함수를 얻어야 하겠지만 정확한 값을 구하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 많은 실험을 통하여 구동 시스템의 전달함수를 구하였다. 그림 3은 모터에 스텝 입력 전압을 인가하여 얻은 모터 속도의 궤적을 보여준다.

페루프 상태에서의 시스템 성능에 근거하여 성능 목표치를 다음과 같이 2초 이내의 settling시간, 5% 미만의 과도응답, 1% 미만의 정상상태오차를 임의로 정하였다.

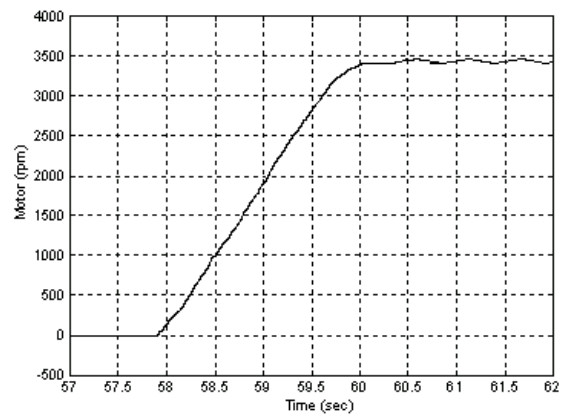


그림 3. DC 모터의 RPM 성능
Fig. 3. DC motor RPM profile

그림 3의 결과에서 시스템의 고유 주파수와 감쇠율을 알 수 있기 때문에 그를 통해 전달함수를 얻어

낼 수 있다. 구동시스템의 전달함수는 다음 식 (11)와 같이 표현되어 진다.

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{5866.575}{s^2 + 4.55s + 7.111} \quad (11)$$

그림 4는 위 식 (11)로부터 얻어진 전달함수를 MATLAB®과 Lab-view 프로그램을 사용하여 시뮬레이션한 결과와 실험결과를 보여준다[8]. 그림에서 실선은 시뮬레이션결과이며 점선은 실제실험결과이다.

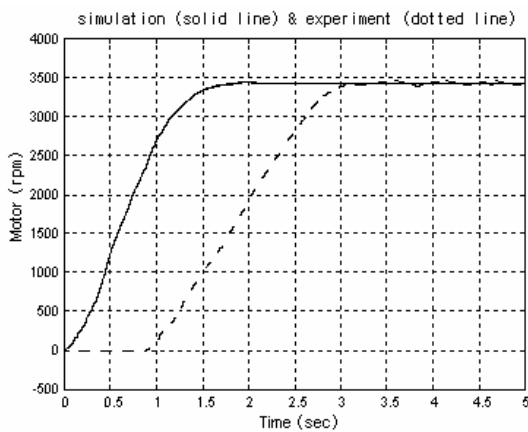


그림 4. 시뮬레이션과 실험결과 사이의 DC 모터 전달함수 비교
Fig. 4. Comparison of DC motor transfer function between experiment and simulation results.

2-2 횡 방향 제어

정확한 조향 제어를 위하여 조향 액추에이터는 스텝핑 모터를 사용하였고, 타이밍 벨트로 조향 축에 연결하였다. 조향 컬럼의 조향 토크는 토크측정기에 의하여 평가되었고, 약 20[Kg·cm] 이다. 그러므로 본 실험에서는 반력을 극복하기 위하여 1400[g·cm²] 관성 모멘트와 22[Kg·cm] 최대 토크를 가지는 PK-296 모델의 스텝핑 모터를 선택하였다. 입력 펄스와 조향 각의 관계는 식 (12)와 같이 표현된다.

$$\alpha = \frac{360^\circ}{4000} [\text{deg/pulse}] = 0.09 [\text{deg/pulse}]$$

$$\frac{1}{4000} [\text{rev/pulse}] = 0.00025 [\text{rev/pulse}] \quad (12)$$

위 식 (12)로부터 최대 분해능이 0.18도임을 알 수 있었다.

2-2-1 조향시스템 모델링

무인자동차의 조향 시스템 모델링을 위하여 차량의 운동 모델로 널리 사용되는 Bicycle 모델을 사용하였다. 이때 차량의 롤링운동은 무시하고 수평면내를 일정속도로 주행하는 차량운동을 고려하였고, 차량의 연직 방향의 높이를 무시하여 지면에 투영되는 강체로 차량의 횡 방향의 병진 운동과 연직 축 둘레의 회전, 즉 요잉(Yawing) 운동을 고려하였다[9],[10].

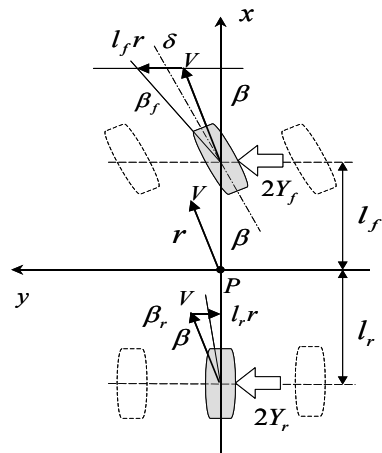


그림 5. 조향시스템을 위한 Bicycle 모델
Fig. 5. Bicycle model for steering system.

그림 5는 좌표계에 표현된 Bicycle 모델에 조향 시스템의 동적 운동을 표현하기 위한 변수들을 보여준다. 만약 전륜 바퀴의 조향각을 δ 라 가정하면, 전륜과 후륜의 각각의 타이어 슬립각은 $\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{r1}, \beta_{r2}$, 그리고 코너링 포스는 $Y_{f1}, Y_{f2}, Y_{r1}, Y_{r2}$ 이다[11],[12]. 전/후륜 타이어의 코너링 포스를 K_f 와 K_r 로 가정하면, 슬립각은 y 축으로부터 음의 방향과 양수로 적용된다. 그림 5로부터 Bicycle 모델링에 관한 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

$$mV \frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + \{mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r)\}r = 2K_f \delta, \quad (13)$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r) \beta + I \frac{dr}{dt} + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V} r = 2l_f K_f \delta \quad (14)$$

방정식 (13)과 (14)로부터 우리는 차량 요잉 각가 속도에 대한 운동 방정식을 유도할 수 있다. 이러한 식을 라플라스에 적용하여 식 (15)와 같다.

$$\frac{R(s)}{\Delta(s)} = \frac{2(mVl_f K_f s + (l_f K_f^2 + 2K_f K_r (2l_f - l_r)))}{mVl(s^2 + \frac{2m(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) + 2I(K_f + K_r)s}{mIV} + \frac{4K_f K_r V^2}{mIV^2} - \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{I})} \quad (15)$$

무인자동차의 조향 시스템 전달함수를 구하기 위해 유도된 운동방정식의 매개 변수들인 K_f 와 K_r , 차량의 요잉 관성모멘트 I 등은 그 값의 정확한 측정이 거의 불가능하다. 따라서 차량에 임의의 조향각 δ 를 Step 입력하여 자이로 센서를 통해 얻어진 차량 요각속도 궤적으로 시스템을 정의하였다. 다음 그림 6은 시간에 따른 조향각 δ 의 시뮬레이션 결과와 스텝 입력에 의한 조향각의 측정 응답을 보여준다. 그림에서 실선은 시뮬레이션결과이고 점선은 실제 차량 조향각 결과이다. 이러한 결과는 많은 실험을 통하여 얻었으며, 다음 식 (16)과 같은 시스템 전달함수를 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{R(s)}{\Delta(s)} = \frac{97.3}{s^2 + 2.31s + 2.78} \quad (16)$$

그림에서와 같이 시뮬레이션 결과와 실험적인 결과는 어느 정도 일치한다. 하지만 모델링에 의한 결과는 실험적으로 측정된 값들과 노이즈 및 불확실한 튜닝으로 인하여 정확하게 일치하지는 않는다.

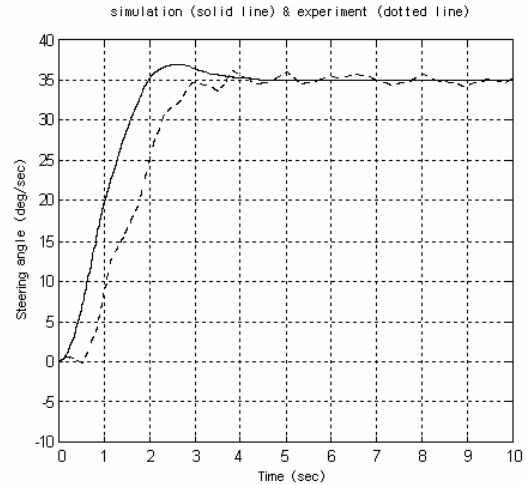


그림 6. 시뮬레이션과 실험결과의 조향각 전달함수 비교
Fig. 6. Comparison of steering angle transfer function between experiment and simulation results.

하지만, settling시간, rising시간과 정상 상태 에러는 거의 유사하다. 따라서 더욱 정확한 횡 방향 제어를 위하여 PID 제어기를 설계하였고 다음 식 (17)은 PID제어기의 전달함수를 보여준다.

$$G_c(s) = \frac{R(s)}{\Delta(s)} = \frac{97.3(K_d s^2 + K_p s + K_i)}{s^3 + (K_d + 2.31)s^2 + (K_p + 2.78)s + K_i} \quad (17)$$

여기서 K_p , K_i , K_d 는 PID이득 값을 의미하며, $P=2$, $D=1$, $I=0$ 일 때, 시스템의 settling시간이 1 sec 상되는 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7은 이득 값에 의한 시뮬레이션 결과를 보여준다.

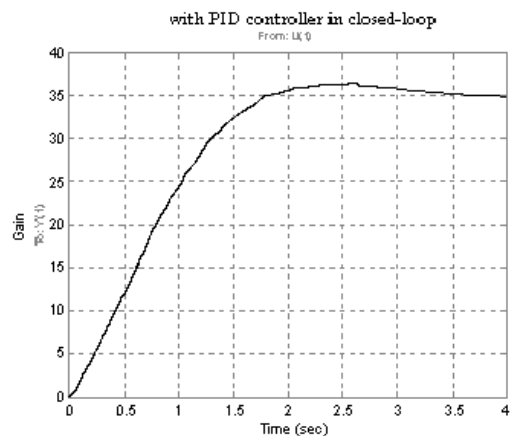


그림 7. PID 제어에 의한 페루프시스템 시뮬레이션
Fig. 7. Closed-loop system simulation with PID control.

Ⅲ. 무인자동차의 센서 시스템

무인차량의 주행 시 차량의 안정성과 전방에 장애물 인지 및 회피를 위하여 다양한 센서들을 사용하였다. 특히, 조향각에 따른 차량의 요각속도 변화를 얻기 위하여 산업 및 차량 항법 시스템 등에서 널리 사용되는 Murata사의 ENV-05H 자이로 센서를 사용하였고, 물체인식과 회피를 위하여 초음파 센서와 레이저 스캐너, 비전시스템이 사용되었다. 일반적으로 초음파 센서와 레이저 스캐너에 의한 거리측정 신호들은 D/A 변환기에 의하여 디지털 값으로 변환되고, DAQ 보드 및 마이크로 프로세서처리에 의하여 메인 컴퓨터에서 거리를 계산하게 된다.

그림 8은 초음파 센서로부터 신호를 받기 위한 블록 선도를 보여준다.

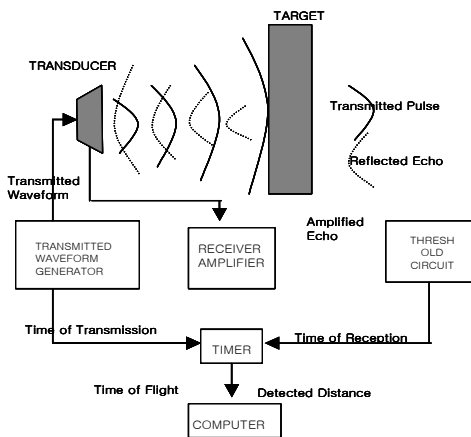


그림 8. 초음파센서 처리 블록선도
Fig. 8. Block diagram of the ultrasonic sensor.

또한, 그림 9는 본 연구에서 사용된 레이저 스캐너의 영역을 보여준다.

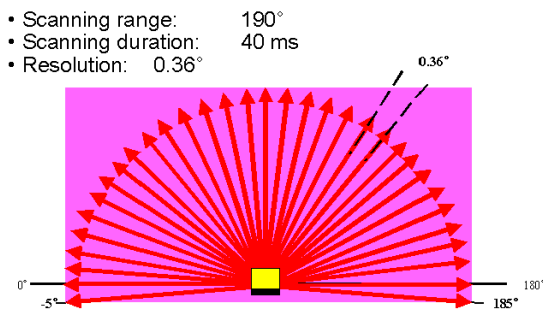


그림 9. 레이저 스캐너의 스캔영역
Fig. 9 Scanning field of the laser scanner.

레이저 스캐너의 측정 방법은 레이저 빔 펄스의 전달 시간에 의하여 물체의 거리를 측정한다. 레이저 빔의 펄스는 내부 회전 거울에 의해 반사되고 그것은 팬 모양의 스캔을 만들어 내며 물체의 형상은 연속적으로 받은 펄스에 의해 결정된다. 스캔 측정 데이터들은 외부 평가 프로그램에 의해 처리되고 물체 측정을 위한 표준 데이터는 RS232 시리얼 인터페이스 카드에 의하여 메인 컴퓨터로 전송된다.

비전시스템은 무인자동차의 성능향상을 위하여 현재 많이 연구가 진행 중이다 하지만 외부적인 환경의 영향을 너무 많이 받기 때문에 연구에 많은 어려움이 있다. 다음 그림 10은 일반적으로 사용되는 카메라 좌표계와 실세계 좌표 시스템을 보여준다.

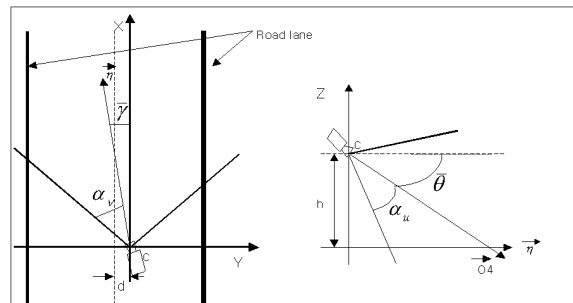


그림 10. 카메라 좌표와 실세계좌표 사이의 좌표시스템
Fig. 10. The coordinate systems between camera coordinate and real coordinate.

그림에서 d는 차선의 중심과 카메라 사이의 거리를 의미하며, η 는 광학축의 z=0평면상 벡터 프로젝트로 정의되고, γ 는 X축과 η 사이의 각으로 정의된다. 또한, Θ 는 X,Y 평면과 광학축 사이의 각으로 정의된다. 위와 같은 관계로부터 실세계 좌표시스템의 좌표변환 방정식 (18)과 (19)를 유도 할 수 있다.

$$u(x, y, 0) = \frac{\tan^{-1} \left[\frac{h \cdot \sin \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \right\}}{y} \right] - (\bar{\theta} - \alpha_u)}{\frac{2\alpha_u}{n-1}}, \quad (18)$$

$$v(x, y, 0) = \frac{\tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) - (\bar{r} - \alpha_v)}{\frac{2\alpha_v}{m-1}}. \quad (19)$$

여기서, (u,v) 는 영상좌표, (x,y) 는 실세계 좌표, m 과 n 은 CCD 분해능의 변수를 의미한다. 실세계 좌표를 영상좌표로 변환하면 다음 식(20), (21)로 표현할 수 있다.

$$x(u,v) = \frac{h}{\tan\{\bar{\theta} + (\frac{2u}{n-1} - 1)\alpha_2\}} \cdot \cos\{\bar{r} + (\frac{2v}{m-1} - 1)\alpha_1\}, \quad (20)$$

$$y(u,v) = \frac{h}{\tan\{\bar{\theta} + (\frac{2u}{n-1} - 1)\alpha_2\}} \cdot \sin\{\bar{r} + (\frac{2v}{m-1} - 1)\alpha_1\}. \quad (21)$$

그림 11은 차선인식 방법을 보여준다. 이 방법은 차량의 진행 방향을 결정하는데 사용된다.

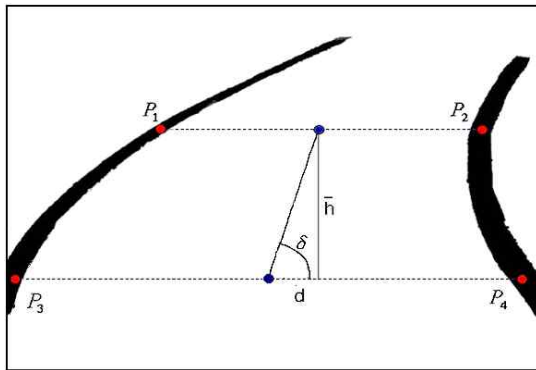


그림 11. 좌/우 차선의 추출 포인트
Fig. 11. Extract points of right and left lane.

여기서, \bar{h} 와 \bar{d} 은 $P1(x1,y1)$, $P2(x2,y2)$, $P3(x3,y3)$, $P4(x4,y4)$ 의 좌표에 의하여 계산된다. 그리고 다음 식 (22), (23), (24)을 통하여 모터의 제어 값을 얻을 수 있다.

$$\bar{d} = \left| \frac{x_4 - x_3}{2} - \frac{x_2 - x_1}{2} \right|, \quad \bar{h} = 100 \text{ (Constant)}, \quad (22)$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\bar{h}}{\bar{d}}, \quad (23)$$

$$p_s(n) = 1.417\theta(n) + 127.53 \quad (24)$$

IV. 실험평가 및 결과

4-1 초음파 센서와 레이저 스캐너 실험결과

물체인식과 회피실험 무인차량의 연구에 있어 중요한 실험 중에 하나이다. 따라서 본 연구에서는 물체인식 및 충돌회피를 위하여 ULTRA-U 초음파 센서와 레이저 스캐너를 사용하였고, 이 센서들을 통하여 로봇과 물체간의 거리를 측정하였다[13]. 특히 초음파 센서는 부피가 작고, 가격이 저렴하며, 거리계산이 쉽기 때문에 일반적으로 실내/외용 이동로봇에 널리 사용된다. 물체인식 및 충돌회피 실험을 위하여 센서를 차량 전방 및 측방에 부착하였고, 센서에 대한 특성을 분석한후 실차 실험을 수행하였다. 첫 실험 단계는 초음파 센서와 레이저 스캐너에 의한 환경인식이다. 그림 12는 복도에서의 초음파 센서들의 실험 결과를 보여준다. 실험 조건은 측면 앞에 2개의 센서와 측면 뒤에 2개의 센서를 부착하여 차량으로부터 복도 벽면까지의 거리를 계산하였다. 결과에서 각각의 그래프는 초음파 센서로부터 복도 벽면까지의 거리를 의미한다. 이때 그래프의 형상은 실제 실험 조건인 복도의 형상을 의미한다. 본 실험으로부터 약간의 데이터 처리에 따른 시간 지연이 있음을 알 수 있었고, 센서에 의한 출력 값은 실험 환경과 일치함을 알 수 있었다.

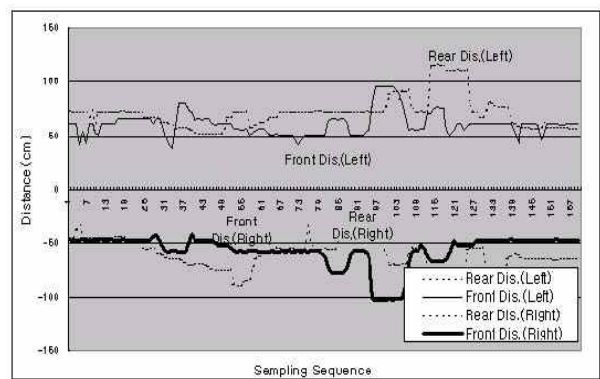


그림 12. 복도에서의 초음파 센서 실험
Fig. 12. Ultrasonic sensor experiment in corridor.

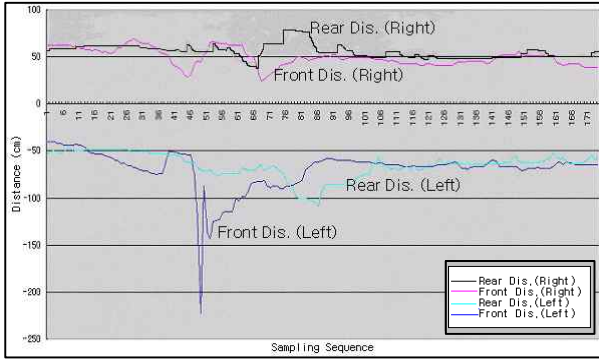


그림 13. 복도에서의 초음파 센서 실험(S-턴)
Fig. 13. Ultrasonic sensor experiment in corridor.(S-turn)

위 그림 13은 같은 조건에서의 S턴 실험 결과를 보여준다. 이 결과에서도 약간의 시간 지연을 알 수 있었다.

그림 14와 15는 복도에서의 물체인식을 위한 레이저 스캐너의 연속 실험을 보여준다. 실험 조건은 각각 2m와 3m앞에 장애물이 놓여있다. 첫 번째 실험으로부터 전방 2m 왼쪽에 하나의 물체가 있음을 레이저 스캐너의 신호를 통하여 인식할 수 있고, 두 번째 실험은 차량 앞쪽 중앙에 물체가 놓여 있음을 보여준다. 이 결과로부터 정확한 물체인식과 커브의 모양은 레이저 스캐너 데이터의 정확성을 보여준다.



그림 14. 레이저 스캐너 측정실험
Fig. 14. Measure experiment of the laser scanner.

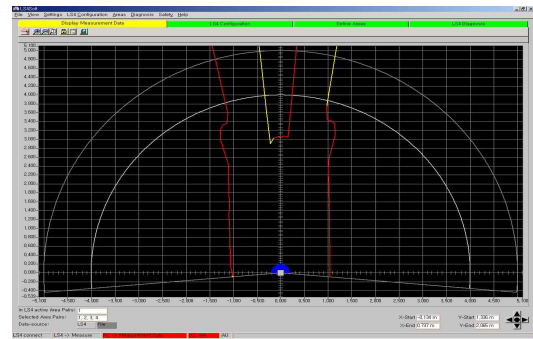


그림 15. 레이저 스캐너 측정실험
Fig. 15. Measure experiment of the laser scanner.

그림 16은 레이저 스캐너와 초음파 센서에 의한 물체인식 및 회피 방법을 위한 실험 환경 조건을 보여준다.

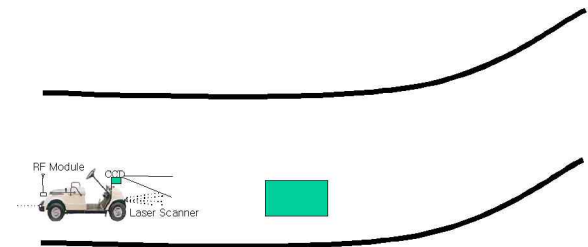


그림 16. 센서 실험 환경
Fig. 16. Environment of experiment sensor.

그림 17과 18은 위 그림 16환경에서의 물체회피 방법을 보여준다.

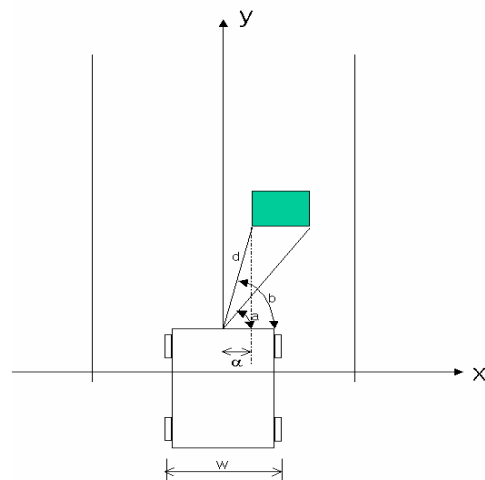


그림 17. 차량의 오른쪽 물체
Fig. 17. Obstacle on the right of the vehicle.

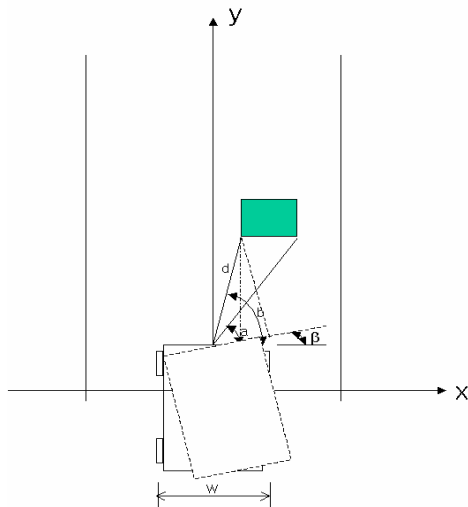


그림 18. 각 회전에 의한 물체 회피
Fig. 18. Obstacle avoidance by turning an angle(β).

만약 물체가 차량 진행방향의 오른쪽에 위치할 경우 다음과 같은 순서에 의하여 물체를 회피한다.(조건: $a < 90, b < 90$)

- (1) 만약 트랙의 중심으로부터 차량의 중심까지 옵셋이 없을 경우 차량은 같은 경로와 물체를 회피할 수 있다.
- (2) 만약 $\alpha = d * \cos(b)$ and $\alpha > \frac{1}{2}w$ 경우, 차량 중심에 대한 옵셋 없이 직진경로를 유지한다.
- (3) $\alpha = d * \cos(b)$ and $\alpha \leq \frac{1}{2}w$ 일때, 조향각 (β) 을 계산하고 차량은 $a_{new} = (\frac{1}{2}w + \text{safety factor})$ 와 같이 회전한다. (safety factor=1피트)
- (4) $d * \cos(b - \beta) = a_{new}$ 일때까지 계속하여 왼쪽 방향으로 회전하고 그 상태에서 차량은 출발한다. β 는 차량의 조향 각이고 초기의 위치로부터 회전되었다.
- (5) $a_{new} - a_{old}$ 의 거리에 의하여 옵셋되고 차선의 중심라인과 평행한 경로를 따라 차량을 유지하며 오른쪽 턴으로 차량을 출발한다.
- (6) 경로의 중심과 차량의 거리가 벌어질 경우 옵셋 이전의 거리로 계산한다.

그림 19, 20은 물체인식과 회피를 위한 프로그램 환경과 경로계획 결과를 보여준다.

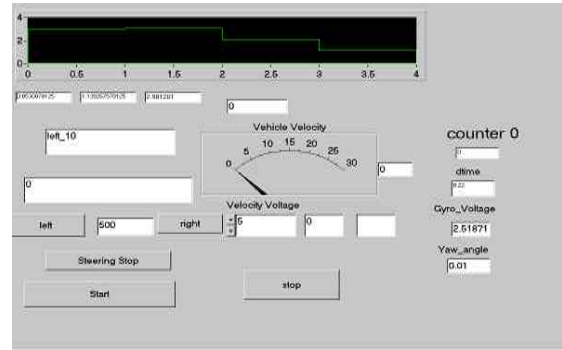


그림 19. 물체인식 디스플레이
Fig. 19. Display of detecting obstacle.

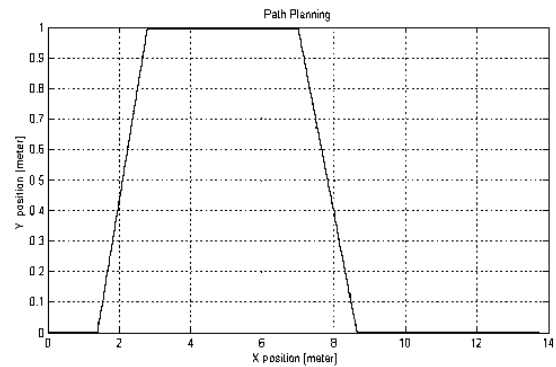


그림 20. 경로계획 결과
Fig. 20. The result of the path planning.

그림 21은 물체 회피를 위한 자이로 센서와 초음파 센서를 통한 차량의 요 각도를 보여주며, 실제 출력 값을 보간 곡선을 통하여 나타내었다.

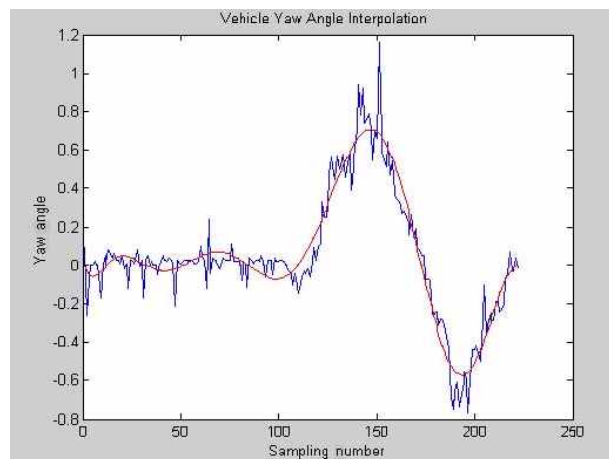


그림 21. 요각도 보간곡선
Fig. 21. Interpolation curve of yaw angle.

그림 22는 주행에 따른 차량의 위치와 path planning의 실험결과를 비교하여 보여준다. 그림으로

부터 path plan과 차량의 경향이 비슷함을 알 수 있었다.

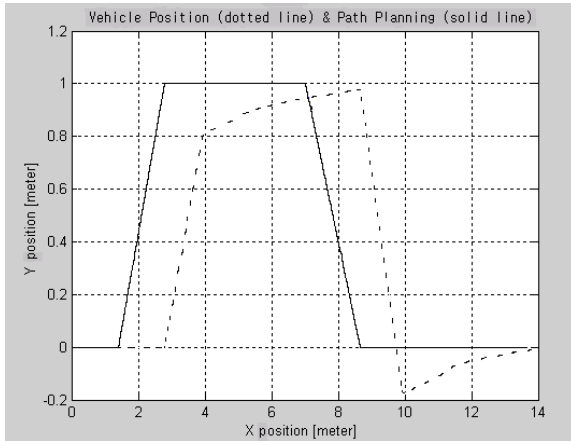


그림 22. 차량위치와 경로계획 비교
Fig. 22. Comparison between vehicle position and path planning.

4-2 차선추적 실험결과

4-2-1 차선추적 구동실험결과

비전 보드를 통하여 얻어진 차량데이터 또한, 차량 제어를 위하여 사용된다. 본 실험에서는 두 종류의 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험은 유선 통신을 이용한 차선인식 실험이며, 두 번째 실험은 무선 통신을 이용한 영상처리 차선인식 실험이다. 다음 그림 23과 24는 유/무선을 이용한 차선인식 결과를 보여준다.

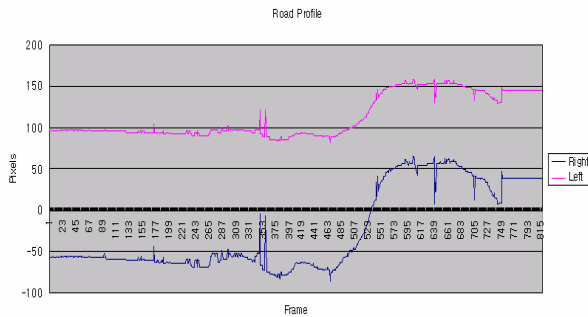


그림 23. 유선통신을 이용한 차선데이터 윤곽
Fig. 23. Lane data profile using wire communication.

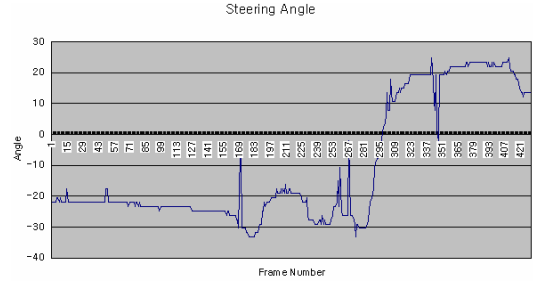


그림 24. 무선통신을 이용한 차선데이터 윤곽
Fig. 24. Lane data profile using wireless communication.

그림에서 볼 수 있듯이 무선통신의 경우 외부환경에 의한 전파방해 및 노이즈로 인하여 영상 데이터의 손실이 발생하고 차량 제어에 어려움을 발견할 수 있다.

4-2-2 차선추적 조향실험결과

그림 25와 26은 실차실험을 통한 유/무선 통신의 경우 조향각을 보여준다.

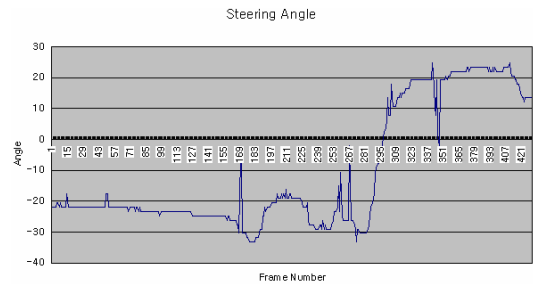


그림 25. 유선통신을 이용한 조향 각
Fig. 25. Steering angle using wire communication.

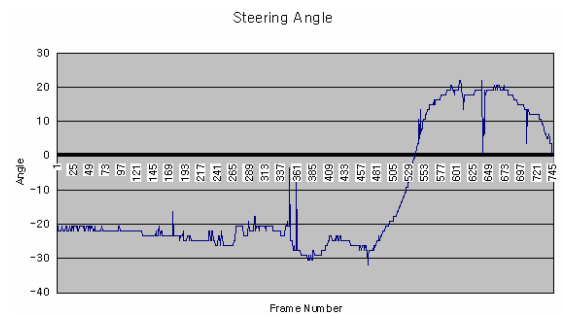


그림 26. 무선통신을 이용한 조향 각
Fig. 26. Steering angle using wireless communication.

실험의 결과로부터 알 수 있듯이 무선통신의 경우 데이터 전송시 조향각의 데이터를 손실하므로 차선 인식에 불 정확성을 나타낸다.

4-2-3 차선추적 처리시간실험결과

사람에 의하여 제어되지 않는 무인차량 시스템에 있어 데이터 처리시간은 매우 중요하다. 무인차량의 영상시스템에서 차량의 구동시간 및 데이터 전송시간은 많이 차지 하지 않는다 하지만 데이터 영상처리 시간은 많은 시간을 필요로 한다.

다음 그림 27은 유/무선 조건에서의 한 프레임에 대한 영상처리시간 결과를 보여준다.

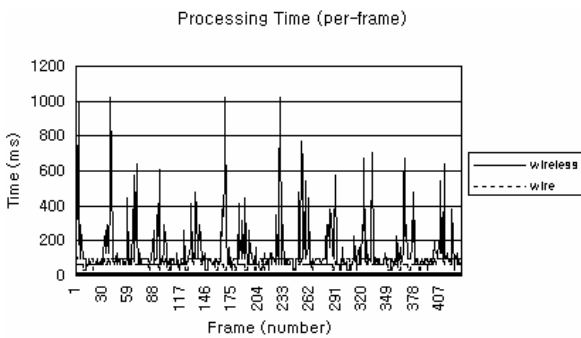


그림 27. 영상처리 시간(유/무선)
Fig. 27. Image processing time.

결과로부터 유선에서의 영상처리시간은 약 72ms 이고 초당 14 프레임을 처리 할 수 있다. 반면에 무선 통신의 경우 영상처리시간이 144ms로 초당 7프레임을 처리 할 수 있다. 결과의 비교에서 알 수 있듯이 무선통신의 경우 처리시간이 두 배이상 소요됨을 알 수 있다.

그림 28은 무선통신 영상처리에 있어 필터링의 유/무에 대한 처리결과 및 시간을 보여준다.

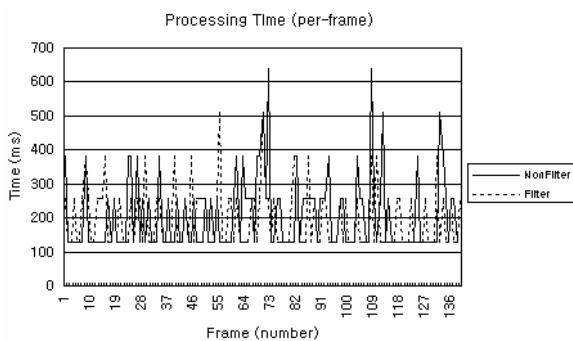


그림 28. 영상처리 시간(유/무 필터링)
Fig. 28. Image processing time using a filter.

결과로부터 필터를 사용한 경우 평균 영상처리시간은 약 205ms이고 초당 5 프레임을 처리 할 수 있다.

반면에 필터를 사용하지 않은 경우 평균 영상처리시간은 약 160ms로 초당 6프레임을 처리 할 수 있다. 결과의 비교에서 알 수 있듯이 노이즈를 제거할 경우 영상처리시간이 증가함을 알 수 있었다. 일반적으로 무선통신의 경우 데이터 처리 지연이 야기된다.

V. 결 론

본 논문은 무인자동차에 대한 차량모델링 및 설계 분석을 수행하였다. 무인자동차의 설계는 센서, 액추에이터 등에 대한 분석이 중요하다. 또한, 무인자동차의 종 방향 제어를 위하여 DC모터에 대한 모델링, 설계, 시뮬레이션을 실시하였으며, 차량의 횡 방향 제어를 위하여 레이저 스캐너, 초음파 센서, 영상 시스템 등을 사용하였다. 무인자동차의 물체인식 및 회피에 대한 실험을 통하여 제어 알고리즘에 대하여 이해를 하였으며 특히, 영상처리를 통한 실험을 통하여 필터링 사용 유/무에 대한 결과 비교 및 유/무선 통신에 따른 영상처리 시간에 대하여 결과를 도출 하였다. 실험결과에서 영상처리에 있어 유선의 경우 무선에 비하여 영상처리 시간 및 데이터의 안전성이 뛰어난을 확인 하였다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 호원대학교 교내 학술연구비에 의해 조성된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] A. Elfes, S. S. Bueno, M. Bergerman, E. C. Paviva and J. G. Ramos, "Robotic airships for exploration of planetary bodies with an atmosphere: Autonomy challenges," *Autonom Robots*, vol. 14, pp. 147-164, 2003.

[2] S. Hirose, H. Kuwahara, Y. Wakabayashi and N. Yoshioka, "The mobility design concepts/ characteristics and ground testing of an offset-wheel rover vehilce," *Space Technology*, vol. 17, pp.183-193, 19

97.

- [3] M. S. Kim, "The system modeling for unmanned vehicle & autonomous driving algorithm by ultrasonic sensors," *Master's thesis, graduate school of automotive engineering*, Kookmin University, 2001.
- [4] S. J. Lee, K. S. Yi, "Throttle/brake combined control for vehicle-to-vehicle distance and speed control," *Korea society of automotive engineers (KSAE)*, Vol. 9, No. 2, pp.137-142, 2001.
- [5] D. H. Kim, *Basic and Application of a Small Size Motor*, Jin Young Press, Seoul, Korea, 1993.
- [6] C. S. Paresh, *Principles of Electric Machines and Power Electronics*, SciTech Media, Korea, 1998.
- [7] B. G. Kim, Y. H. Park, S. G. Kim and J. H. Kim, "The development of collision avoidance algorithm for unmanned ground vehicle using ultrasonic range sensors," *Proceeding of ICCAS*, Cheju Island, pp. 20-23, 2001.
- [8] I. National, *Lab-VIEW Data Acquisition Basics Manual*, National Instruments Cor., U.S.A., 1996.
- [9] R. C. Dorf and R. H. Bishop, *Modern Control Systems*, Addison Wesley, New Jersey, 1997.
- [10] D. G. Thomas, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, 1992.
- [11] K. H. Park, S. J. Heo, I. H. Paik and K. S. Yi, "Estimator design for road friction coefficient and body sideslip angle for use in vehicle dynamics control systems," *Trans. KASE*, Vol. 9, No. 2, pp. 176-184, 2001.
- [12] J. R. Ellis, *Vehicle Dynamics and Control*, London Business Book, London, 1969.
- [13] J. W. Lee, "An application of computer vision and laser radar to a collision warning system," *Trans. KSAE* Vol. 7, No. 5, pp. 258-267, 1999.

유 환 신 (劉桓臣)



1993년 2월 : 동국대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

2006년 2월 : 국민대학교 대학원 자동차공학과(공학석.박사)

1993~1997 : (주)기아자동차(자동차 기술 교육 및 시뮬레이션 개발)

1993~1997 : 한국자동차대학(전자제어 교육)

1993~1997 : 웨미리모터스 기술고문

2006년~ 현재 : (사) 한국자동차기술인회 이사

2006년~ 현재 : 전북자동차포럼 실무위원

2006년~ 현재 : 군산단지 혁신클러스터 평가위원

2006년~ 현재 : 호원대학교 자동차기계공학부교수

관심분야 : 무인자율차량, 센서시스템, 영상처리

김 상 겸 (金賞謙)



1996년 2월 : 국민대학교 자동차공학과 졸업 (공학사)

1998년 2월 : 국민대학교 대학원 자동차공학과 (공학석사)

2004년 2월 : 국민대학교 대학원 자동차공학과 (공학박사)

2004~2005년:University of Florid (Post. doc)

관심분야 : 무인자율차량, 센서시스템, 영상처리