

# 무인자율차량의 실시간 충돌 회피 알고리즘 개발

論 文

56-7-21

## Development of a Real-Time Collision Avoidance Algorithm for eXperimental Autonomous Vehicle

崔 德 善<sup>†</sup>  
(Tok Son Choe)

**Abstract** - In this paper, a real-time collision avoidance algorithm is proposed for eXperimental Autonomous Vehicle(XAV). To ensure real-time implementation, a virtual potential field is calculated in one dimensional space. The attractive force is generated by the steering command either transmitted in the remote control station or calculated in the Autonomous Navigation System(ANS) of the XAV. The repulsive force is generated by obstacle information obtained from Laser Range Finder(LRF) mounted on the XAV. Using these attractive and repulsive forces, modified steering, velocity and emergency stop commands are created to avoid obstacles and follow a planned path. The suggested algorithm is inserted as one component in the XAV system. Through various real experiments and technical demonstration using the XAV, the usefulness and practicality of the proposed algorithm are verified.

**Key Words** : Unmanned Vehicle, Autonomous Navigation, Path Planning, Collision Avoidance

### 1. 서 론

미래 전장은 인구감소와 인명중시 사상에 의해 필수 불가결하게 로봇의 활용이 예상된다. 특히, 미국은 미래 전장에 로봇을 활용하기 위해 2015년까지 26조원 규모의 미래전투체계(Future Combat System) 사업을 수행 중이며, 이를 통해 SUGV(Small Unmanned Ground Vehicle), MULE(Multi-function Utility/Logistics and Equipment) 등의 무인지상차량을 개발하고 있다[1]. 미국의 무인지상차량의 자율화 기술 수준은 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency) 주관으로 수행한 DEMO III[2][3]와 PerceptOR[4][5] 과제와 관련하여 공개된 자료들을 통해 추정했을 때 길이 없는 야지를 포함한 다양한 환경에서 제한된 속도로 인간이 탑승하여 주행하는 것과 거의 동일한 수준으로 자율 주행을 수행하는 수준인 자율화 레벨 약 6단계로 예측된다.

미래 무인지상차량은 크게 감지센서와 인지/처리를 수행하는 인식계층, 임무통제와 자율제어를 수행하는 판단계층, 구조/메커니즘, 추진/에너지 및 임무장비를 담당하는 작동계층으로 분류할 수 있다. 무인시스템이 자율주행을 위한 가장 핵심기술은 판단계층의 자율제어 부분에 속한 경로계획 기술이다. 경로계획 기술은 인식계층에서 기지의 정보나 센서 정보를 처리하여 생성된 기동 지도와 장애물 지도를 바탕으로 미리 계획된 경로를 가능한 추종하고 장애물을 회피하며 최대한 시간, 거리 혹은 에너지 면에서 효율적인 경로를 생성하고 이를 작동계층이 제어할 수 있는 조향, 가/감

속, 제동 명령으로 변환시켜 생성된 경로를 추종하도록 제어 명령을 발생시키는 것이다.

무인지상차량의 경로계획 기술은 세부적으로 임무계획, 전역경로계획, 지역경로계획, 이동 장애물 회피, 실시간 충돌 회피로 나눌 수 있다. 임무계획은 무인지상차량이 임무 수행에 앞서 임무와 관련된 다양한 정보(속성이 부여된 위성 지도 혹은 지형고도자료 등)를 바탕으로 장애물, 통신 가시선, 주행 가능성 등을 분석하여 목표점 또는 중요 경유점을 계획하는 것이다. 또한, 목표점 또는 중요 경유점에서 구체적인 임무(감시, 경계 등)를 할당한다. 전역경로계획은 임무 계획에서 생성된 목표점 또는 중요 경유점과 분석된 정보(주행 가능성, 장애물 등)를 활용하여 차량이 이미 알고 있는 장애물을 회피하여 안전하게 주행할 수 있는 중요 경유점 간의 촘촘한 경로를 생성하는 것이다. 지역경로계획은 전역경로계획에서 생성된 경로를 따라 주행하면서 무인지상차량의 전방에 장착된 센서의 인지 범위 내에 실제 습득된 정보를 바탕으로 장애물 정보를 획득하고 이를 바탕으로 해당 구간 내의 전역경로를 실시간으로 갱신한다. 이동 장애물 회피는 무인차량에 탑재된 다중센서 정보를 활용하여 이동 물체를 탐지하고 시간에 따라 추적하며 예상 이동 지역을 추정한다. 이를 바탕으로 무인차량에 위험 정도를 판단하고 위험 정도가 높은 이동 장애물에 대해 회피를 수행하는 경로를 생성한다. 실시간 충돌 회피는 전역경로계획, 지역경로계획 및 이동 장애물 회피와 상관없이 무인차량의 근거리 센서 인지 범위 내에 존재하는 장애물에 대해 실시간으로 강제 회피를 수행하게 하는 조향, 가/감속, 제동 명령을 직접적으로 발생시키는 일을 수행한다.

임무계획, 전역경로계획, 지역경로계획, 이동 장애물 회피 알고리즘들[6][7][8][9][10][11]은 계속 연구가 계속 진행 중이며, 본 논문에서는 가장 기본적인 자율주행 알고리즘인 실시간 충돌 회피 알고리즘만 다루고자 한다. 실시간 충돌 회

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 國防科學研究所 1-1-2 研究員

E-mail : tschoe@add.re.kr

接受日字 : 2007年 5月 9日

最終完了 : 2007年 6月 15日

피 연구는 대표적으로 Potential Field Method(PFM)[12][13][14][15]와 Vector Field Histogram(VFH)[16][17][18][19]을 기반으로 많은 연구를 수행해 왔다. 이동로봇 분야에서 PFM은 목표점을 중심으로 인력이 생성되는 힘과 장애물들을 중심으로 척력이 생성되는 힘을 중첩하여 생성된 잠재장을 이용하여 경로를 생성한다. 이동로봇은 작은 점으로 가정하고 임의의 시작점에서 이동로봇을 놓았을 때 생성된 장의 경사가 낮은 쪽으로 흘러가게 하여 경로를 생성한다. 반면에 VFH는 2차원 직교 좌표계 Histogram Grid(HG)를 월드모델로 활용하고, 이 월드모델은 이동로봇에 장착된 거리 센서에 의해 연속적으로 갱신된다. VFH는 이동로봇을 위한 원하는 제어 명령을 계산하기 위해 2단계 과정을 거친다. 첫 번째 단계에서는 HG를 로봇의 현재 위치 주위로 1차원 Polar Histogram(PH)으로 감소시킨다. PH의 각 섹터는 그 방향의 극 장애물 밀도(Polar Obstacle Density; POD)를 대표하는 값을 포함한다. 두 번째 단계에서는 모든 PH 섹터들 중에 낮은 POD 가지는 섹터를 선택하고 로봇의 조향을 그 방향으로 일치시킨다.

본 논문에서는 VFH에 PFM을 융합하여 새로운 방법을 제안하였다. 기존 VFH의 PH 및 POD 개념을 확장하여 조향장, 장애물장, 통합장 개념을 제안하였다. 기존 VFH에서는 불연속적인 PH로 인해 한정된 조향 명령 밖에 생성할 수 없었으나 본 논문에서는 조향장과 장애물장과 같은 PFM 개념을 적용하여 연속적인 조향 명령을 발생 가능토록 하였다. 또한, 조향 명령의 변화의 크기에 따른 속도 감소와 장애물을 피할 수 없는 경우 긴급정지를 수행토록 하여 무인 차량의 안전성을 확보하였다.

제안된 방법은 구체적으로 2D Ladar로부터 획득된 전방 환경의 거리 정보를 이용하여 장애물에 대해 차량의 폭, 장애물과의 거리를 고려하여 생성된 잠재장(장애물장)과 사전에 계획되거나 원격에서 운용자에 의해 실시간으로 발생하는 조향 명령(조향장)을 기준으로 생성된 잠재장이 합쳐진 통합 잠재장(통합장)을 기준으로 근접 장애물을 실시간으로 회피하기 위한 새로운 조향, 가/감속, 제동 명령을 생성한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 XAV에 적용된 실시간 충돌 회피 알고리즘을 상세히 기술한다. 3장에서는 제안된 알고리즘을 적용한 실험차량인 XAV에 대해 간단히 소개하고 XAV를 활용하여 수행된 실험 및 시험 결과를 보여준다. 마지막 장에서 결론과 함께 문제점 식별과 앞으로 더 연구해야 할 분야에 대해 언급한다.

## 2. 제안된 실시간 충돌 회피 알고리즘

제안된 알고리즘은 전역/지역경로계획 및 이동 장애물 회피와 상관없이 무인차량의 센서 범위 내에 존재하는 장애물에 대해 실시간 강제 회피를 수행하게 하는 조향, 감속, 제동 명령을 발생시킨다. 2D Ladar로부터 획득된 전방 환경의 거리 정보를 이용하여 장애물에 대해 차량의 폭, 장애물과의 거리를 고려하여 생성된 잠재장과 사전에 계획되거나 원격에서 운용자에 의해 실시간으로 발생하는 조향 명령을 기준으로 생성된 잠재장이 합쳐진 통합 잠재장을 사용하여 구현되었다.

### 2.1 조향장

조향장은 원격지의 운용자에 의해 생성되는 조향 명령이나 XAV가 자율주행 시 생성하는 조향 명령에 대해 잠재장을 생성한다. 조향 명령은 XAV의 기구적 제약 때문에  $\pm 30^\circ$  이내의 값으로 제한된다.

XAV 하단의 2D Ladar는 차량 내부에 탑재되어 기구적으로 스캔 영역이  $\pm 60^\circ$  이내로 제한된다. 따라서, 조향장과 장애물장을 통합하기 위해서는 정규화가 필요하며 이를 위해 스케일을 2배로 함으로써 정규화를 수행한다. 이를 원래 조향 명령  $c$ 에 대해 정규화된 조향장의 제한 조건은 다음과 같다.

$$-60^\circ \leq 2c \leq 60^\circ \quad (1)$$

조향장은 조향 명령  $c$ 에 대해 가장 큰 값(=1)을 가지게 하고 주변으로 갈수록 작은 값을 가지도록 가우시안 분포를 가지게 함으로써 생성된다. 조향장을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y = e^{-\frac{(x-2c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

수식 (2)에서  $x$ 는  $\pm 60^\circ$  이내의 임의값이며  $\sigma$ 은 가우시안 분포의 분산을 의미한다.

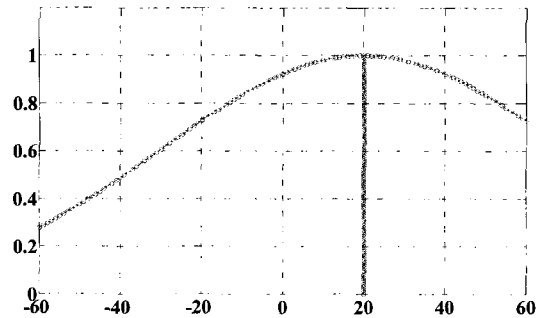


그림 1  $c = 10^\circ$ ,  $\sigma = 50$ 에 대한 조향장  
Fig. 1 Steering Potential in the case of  $c = 10^\circ$ ,  $\sigma = 50$

그림 1는 조향 명령  $10^\circ$ 에 대해 분산이 50인 가우시안 분포로 조향장을 정규화시킨 것이다. 가로축은 각도를 나타내며, 세로축은 정규화된 조향장의 힘을 나타낸다. 만약 분산이 작다면 원래 조향 명령을 많이 따르게 되며, 분산이 크다면 원래 조향 명령의 영향이 적게 된다. 따라서, 분산의 설정은 조향 명령의 추종 정도를 나타내는 척도이다.

### 2.2 장애물장

장애물장은 2D Ladar에서 획득된 거리 정보를 활용하여 잠재장을 생성한다. 2D Ladar는 차량 하단에 위치하며 수평에서 아래로 경사를 주어 10m 이상 거리를 가지는 지면을 스캔할 수 있도록 설치되어 있다. 만약 차량 전방 10m 이내에 장애물이 존재하게 된다면 장애물에 의해 들출된 거리 정보를 습득하게 된다.

장애물장에서는 차량을 점으로 가정하기 위해 장애물의 폭을 넓혀주는 계산을 수행한다. 본 논문에서는 XAV의 폭 1.7m를 반영하여 계산하였다. 또한, 장애물에 의한 잠재장을 생성하기 위해 확장된 장애물 거리 정보에 대해 Moving Average 필터를 사용하여 장애물이 돌출된 부분은 최대값을 가지게 하고 돌출된 부분과 멀어질수록 작은 값을 가지도록 하였다. 추후 조향장과 융합을 위해 크기를 0에서 1 사이의 값으로 정규화를 수행하고 이를 장애물장이라고 정의하였다. 확장된 장애물 거리 정보를 생성하는 방법은 다음과 같은 Pseudo 코드를 사용하여 표현하였다.

```

for (i>=-60;i<=60;i++)
    size=round((EXTEND*180)/(pi*range[i]));
    for j=i-size:i+size
        if (j>=1 & j<=181)
            if (Extend[j]>range[i])
                Extend[j]=range[i];
            end
        end
    end
end
end
end
    
```

EXTEND 변수는 장애물의 확장폭을 의미하고 본 논문에서는 XAV의 폭을 사용하였다. 2D Ladar는 1° 각도 분해능을 가지기 때문에 거리별로 1°의 길이가 달라진다. 따라서, Pseudo 코드에서는 size 변수를 사용하여 각도의 거리별 변화를 보정하였다. range 변수는 2D Ladar로부터 획득되는 거리 정보이며, Extend 변수는 확장된 거리 정보를 의미한다.

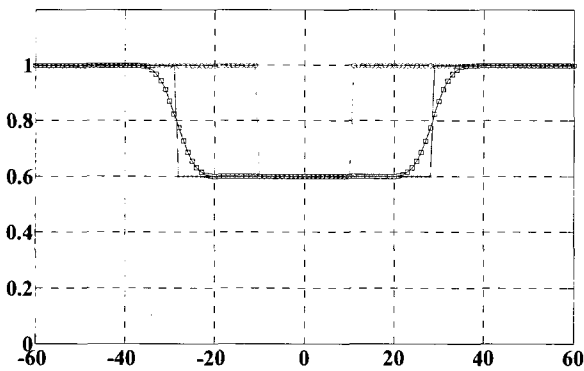


그림 2 거리 5.4m, 장애물 폭 1.9m에 대한 장애물장  
 Fig. 2 Obstacle Potential in the case of distance 5.4m and width of obstacle 1.9m

그림 2는 전방 정중앙에 거리 5.4m, 폭 1.9m인 장애물에 대해 장애물장을 생성한 것이다. '○' 선은 2D Ladar로부터 획득된 거리 정보를 의미한다. 'x' 선은 획득된 거리 정보를 바탕으로 XAV의 폭만큼 확장시킨 거리 정보이다. '□' 선은 확장된 거리 정보에 대해 Moving Average Filter를 수행한 결과이다. 그림 6은 0에서 1 사이의 값으로 정규화하여 표현되었다.

2.3 통합장

통합장은 조향장과 장애물장을 조향장  $F_s$ , 장애물장을  $F_d$ 로 정의했을 때 통합장을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F_t = pF_s + (1-p)F_d \tag{3}$$

수식 (3)에서  $p$ 는 조향장과 장애물장에 대한 가중치를 주기 위한 변수이며 0에서 1사이의 값을 가진다. 조향장에 가중치를 많이 준다면 주어진 경로를 더욱 추종하게 되고 장애물장에 가중치를 많이 준다면 충돌 회피가 우선적으로 고려되는 통합장이 생성되게 된다.

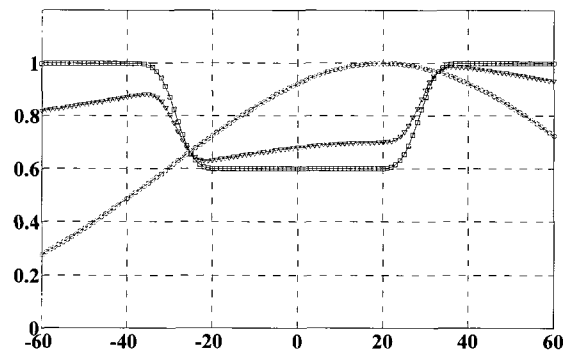


그림 3 그림 1과 그림 2에 대한 통합장( $p=0.25$ )  
 Fig. 3 Integrated Potential combined with Fig. 1 and 2 ( $p=0.25$ )

그림 3은 그림 1와 그림 2의 조향장('○' 선)과 장애물장('□' 선)을 융합한 통합장('△' 선)을 나타낸다. 가중치  $p=0.25$ 로 주어 장애물장에 대해 높은 가중치를 가지도록 하였다. 그림 3에서 통합장 값이 가장 큰 각도는 36°로 계산되었다. 장애물이 -10°와 10° 사이에 위치하고 원래 조향 명령은 10°일 때 XAV의 폭을 고려한 안전한 충돌 회피 조향 명령이 18°임을 의미한다. 조향장은 정규화를 위해 2배로 확장되었기 때문이다.

제한된 실시간 충돌 회피 알고리즘은 이전과 현재의 조향 명령 사이 각도 차이를 정규화하여 감속 명령을 생성한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$v_m = w \cdot v_c \cdot \left(1 - \left| \frac{s_c - s_p}{s_{max}} \right| \right) \tag{4}$$

수식 (4)에서  $v_c$ 와  $v_m$ 은 현재 속도 명령과 수정된 속도 명령을 의미하고,  $s_c$ 와  $s_p$ 는 현재 생성된 조향 명령이과 이전 조향 명령을 의미한다.  $s_{max}$ 는 현재 조향 명령과 이전 조향 명령 사이 생길 수 있는 차의 최대값 상수이며,  $w$ 는 이전과 현재의 조향 차이에 대한 가중치를 의미한다.

제안된 실시간 충돌 회피 알고리즘은 XAV를 기준으로 3m 이상 9m 이내에서 동작되도록 제한조건을 설정하였다. 3m 제한 거리는 최대 조향으로도 피할 수 없는 장애물을 고려하여 확보한 안전거리이다. 만약 장애물이 3m 이내로 들어오게 된다면 XAV는 긴급정지를 수행하게 된다. 9m 이상의 장애물은 충돌 위험도가 작기 때문에 제안된 알고리즘에서는 고려하지 않았다.

제안된 실시간 충돌 회피 알고리즘은 XAV의 Reflective Driver 컴포넌트에 구현되었다. Reflective Driver의 디버깅을 위한 전시창은 아래 그림 4과 같다.

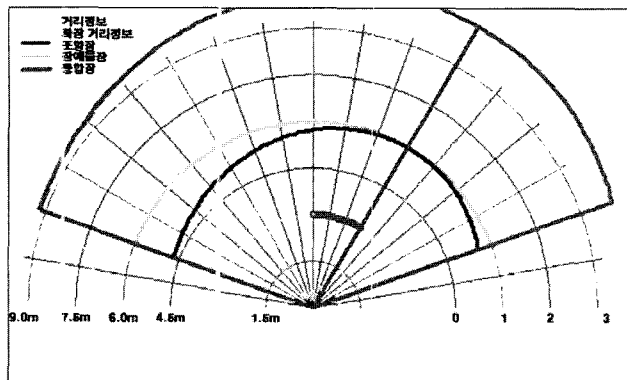


그림 4 Reflective Driver의 디버깅용 전시창  
Fig. 4 Debugging display of Reflective Driver

그림 4에서 '거리정보' 선은 하단 2D Ladar의 거리 정보를 나타낸다. '확장 거리정보' 선은 XAV의 폭만큼 확장된 거리 정보이다. '조향장' 선, '장애물장' 선은 정규화된 조향장과 장애물장을 의미한다. '통합장' 선은 가시성을 높이기 위해 스케일을 높인 통합장을 의미한다.

그림 4는 조향 명령 15°에 대해 조향장을 생성하였고 장애물이 없는 경우에 장애물장을 보여준다. 배경의 가는 선들은 길이로 1.5m 간격을 나타내며 각도로는 15° 간격을 의미한다. 조향장과 장애물장은 가시성을 높이기 위해 3m를 0으로 하고 4.5m를 1로 정규화를 수행하였다. 그림 4에서는 장애물이 없기 때문에 장애물장의 크기는 모두 1을 가리킨다. 조향장은 정규화를 수행했기 때문에 30°에 가장 큰 값을 가지는 조향장이 생성되었다.

### 3. 실험 및 시험 결과

본 장에서는 제안된 알고리즘을 XAV에 이식하고 알고리즘의 성능 확인을 위한 실험 및 시험 결과를 보여준다. 제안된 알고리즘의 성능 확인을 위해 고정 장애물(사람)에 대해 정지 실험을 수행하였고, 노면이 잔디인 운동장에서 원통형, 장벽형, 사람, 자동차 등 고정 및 이동 장애물에 대해 시험을 수행하였다.

### 3.1 실험차량(XAV) 시스템 구성 및 기능

#### 3.1.1 실험차량(XAV) 하드웨어 구성 및 기능

XAV는 크게 쌍안처리장치, 거리측정장치, 항법장치, 통합컴퓨터, 차량제어장치, 주행작동장치, 차량관측장치 및 차량플랫폼으로 구성된다. 세부적으로 쌍안처리장치는 쌍안 카메라, 고각/방위각 방향으로 2축 구동장치, 쌍안처리컴퓨터로, 거리측정장치는 2D Ladar, 고각 1축 구동장치, 거리측정컴퓨터로, 항법장치는 GPS와 IMU 일체형의 항법센서와 항법컴퓨터로 구성된다. 구성은 그림 5와 같다.

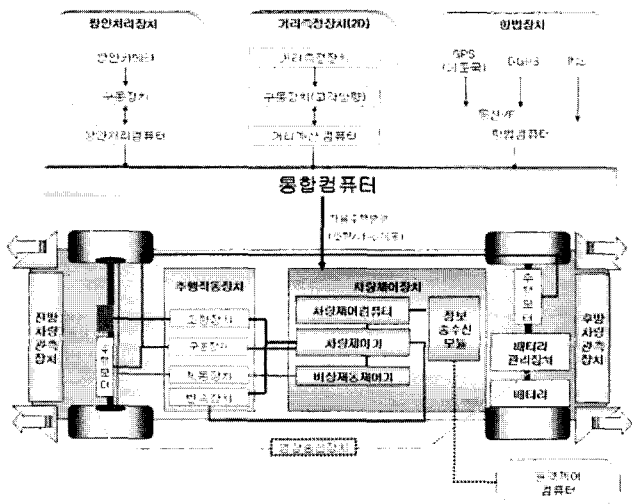


그림 5 XAV 하드웨어 구성  
Fig. 5 Hardware Diagram of XAV

외부 통신과 내부 메시지를 통제와 경로계획을 위한 통합컴퓨터, 통합컴퓨터에서 차량 제어를 위해 생성되는 벡터 명령을 실제 차량이 주행할 수 있는 조향, 가속, 제동 명령으로 변환하는 차량제어컴퓨터, 주행작동장치를 통제하기 위한 차량제어기, 비상시 독립적인 정지를 위해 비상제동제어기, 외부 통신을 위한 정보 송수신 모듈로 구성된 차량제어장치가 할당되어 있다. 주행작동장치는 차량의 휠을 제어하기 위한 모터와 엔코더로 구성된 조향장치, 차량의 구동을 담당하는 대용량 모터를 제어하는 구동장치, 제동을 위한 모터와 엔코더로 구성된 제동장치, 전진/중립/후진 선택을 위한 변속장치로 구성되어 있다. 차량 플랫폼은 4x4 구동방식으로 주동력원은 리튬-폴리머 배터리이고, 길이 3.1m, 폭 1.7m, 높이 1.5m로 평지에서 최대 40Km/h로 주행할 수 있으며 자율주행 시 속도는 약 10Km/h로 주행할 수 있도록 설계되었다.

#### 3.1.2 실험차량(XAV) 소프트웨어 구성 및 기능

XAV의 소프트웨어는 Vehicle Commander, Intelligent Driver, Global Way Point Driver, Reflective Driver, Primitive Driver, Stereo Vision Sensor, Stereo Vision

World Modeler, Stereo Vision Actuator, Range Sensor1, Range Sensor2, Laser Scanner World Modeler, Laser Scanner Actuator로 총 12개의 컴포넌트들로 구성되어 있다.

Vehicle Commander는 XAV를 전체적으로 제어하는 컴포넌트이며, XAV의 6가지 상태전이 모드인 대기, 원격, 자율, 중속, 비상, 수동모드를 제어한다. 외부 통신으로 수신된 정보를 XAV 내부 컴포넌트들에 배분하며 XAV 내부 컴포넌트들에 의해 생성된 각종 상태 정보들을 수집하여 통신을 통해 외부로 전달하는 기능을 가진다. Intelligent Driver는 자율주행 시 통합 월드모델링을 생성하고 이를 기반으로 지역경로계획을 수행하는 컴포넌트이다. 자율주행 시에만 동작하게 된다. Vehicle Commander와 Intelligent Driver는 통합 컴퓨터에 할당되어 있다.

Global Way Point Driver는 항법정보와 운전자에 의해 생성된 전역경로를 기반으로 가능한 주어진 전역경로를 추종하도록 조향, 가/감속, 제동 명령을 생성하는 기능을 가진다. Reflective Driver는 주어진 조향, 가/감속, 제동 명령에 대하여 장애물과 충돌 가능성을 평가하여 실시간 충돌 회피를 위한 새로운 조향, 감속, 제동 명령을 생성한다. Primitive Driver는 XAV를 실제로 제어하는 차량 제어를 통제하는 컴포넌트이다. Global Way Point Driver, Reflective Driver, Primitive Driver는 각각 차량제어장치의 차량제어컴퓨터에 할당되어 있다.

Global Pose Sensor와 Velocity State Sensor는 항법센서의 데이터를 수신하여 차량의 현재 위치 정보와 속도 정보를 생성하고 위치와 속도 정보를 필요로 하는 컴포넌트들에게 데이터를 전송하는 기능을 가진다. 이들 컴포넌트들은 항법장치의 항법컴퓨터에 할당되어 있다.

Stereo Vision Sensor는 쌍안 카메라(Bumblebee)로부터 쌍안 영상을 수신하여 매칭을 수행하고 변이맵(Disparity Map)을 생성하여 Stereo Vision World Modeler에 전송하는 기능을 가진다. Stereo Vision World Modeler는 쌍안 카메라 기반의 변이맵, 항법정보, 쌍안 카메라의 선회 및 고저 위치 정보를 이용하여 월드 모델링을 생성하는 기능을 가진다. Stereo Vision Actuator는 쌍안 카메라를 고저 및 선회 방향으로 구동하는 제어기와 연동하여 센서를 구동하거나 안정화하는 기능을 가진다. Stereo Vision Sensor, Stereo Vision World Modeler, Stereo Vision Actuator는 쌍안처리장치의 쌍안처리컴퓨터에 할당되어 있다.

Range Sensor1은 XAV 하단에 장착된 2D Ladar (SICK)로부터 거리 데이터를 수신 받아 이를 Reflective Driver에 전송하는 기능을 가진다. Range Sensor2는 XAV 상단에 장착된 2D Ladar로부터 거리 데이터를 수신 받아 Laser Scanner World Modeler에 전송하는 기능을 가진다. Laser Scanner World Modeler는 2D Ladar의 거리 데이터, 항법정보, 2D Ladar의 고각 위치 정보를 활용하여 월드 모델링을 생성한다. Laser Scanner Actuator는 2D Ladar를 고각 방향으로 구동하는 제어기와 연동하여 센서를 구동하거나 안정화하는 기능을 가진다. Range Sensor1, Range Sensor2, Laser Scanner World Modeler, Laser Scanner Actuator는 거리측정장치의 거리측정컴퓨터에 할당되어 있다.

### 3.2 고정 장애물 정지 실험

#### 3.2.1 XAV 전방 4m(사람, 약 20°~30°)에 장애물이 있을 경우 통합장 생성 결과

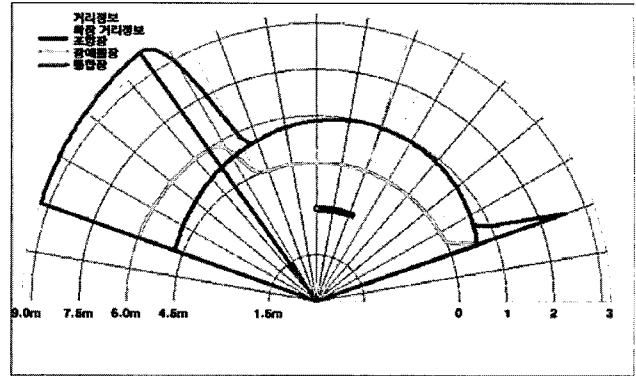


그림 6 고정 장애물 1개에 대한 통합장  
Fig. 6 Integrated Potential in the case of one static obstacle

그림 6는 4m 전방에 20°와 30° 사이에 사람이 서있는 경우이다. 이 때 조향 명령은 11°를 설정하였다. ‘거리정보’ 선이 사람의 다리 부분을 스캔한 거리 정보이고 ‘확장 거리정보’ 선이 이를 확장한 거리 정보이다. 실험에서는 안전 확보를 위해 확장폭을 3m로 설정하였다.

제안된 실시간 충돌 회피 알고리즘에 의해 생성된 최종 조향 명령은 -18°로 생성되었으며, 현재 상태에서 XAV가 -18°로 주행 시 XAV의 전방 오른쪽 끝부분이 약 -6° 부근을 지나게 된다. 따라서, XAV는 안전하게 장애물 왼쪽으로 통과하게 된다.

#### 3.2.2 XAV 전방 5m(사람, -40°~-30°), 6m(사람, 30°~40°)에 장애물이 있을 경우 통합장 생성 결과

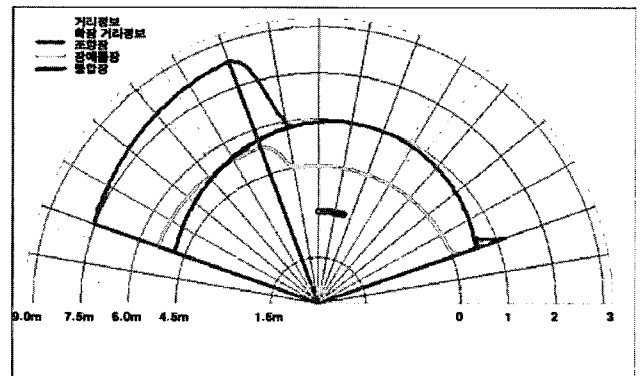


그림 7 고정 장애물 2개에 대한 통합장  
Fig. 7 Integrated potential in the case of two static obstacle

그림 7은 전방 6m,  $-40^\circ$ 와  $-30^\circ$  사이에 1명의 사람과, 전방 5m,  $30^\circ$ 와  $40^\circ$  사이에 1명의 사람이 각각 서있는 경우이다. 조향 명령은  $7.5^\circ$ 로 설정되어 있다. 이 때 수정된 조향 명령은  $-10^\circ$ 로 생성되었다. 만약 현재 상태에서 XAV가  $-10^\circ$ 로 6m 주행 시 XAV의 전방 왼쪽 끝부분은 약  $-18^\circ$  부근을 지나가며,  $-10^\circ$ 로 5m 주행 시는 XAV의 전방 오른쪽 끝부분은 약  $0^\circ$  부근을 지나간다. 따라서, XAV는 안전하게 두 개의 장애물 사이를 통과하게 된다.

### 3.3 고정 및 이동 장애물 충돌 회피 시험

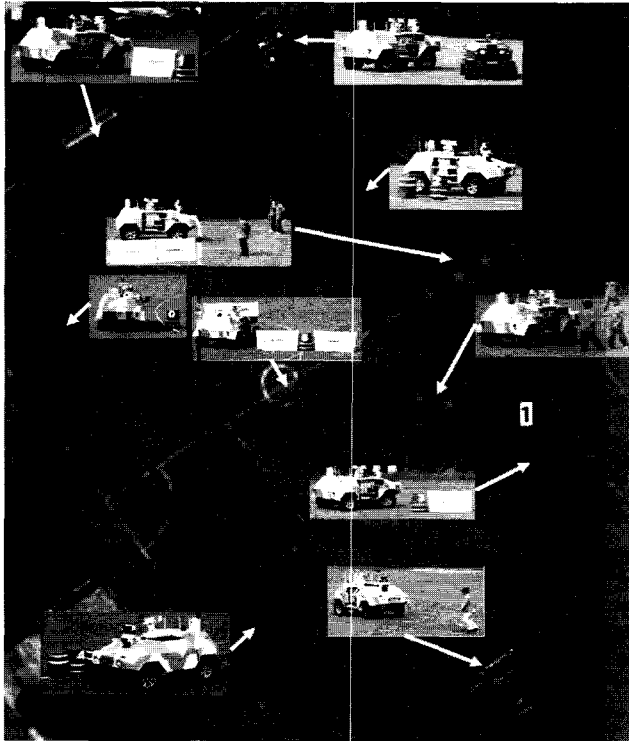


그림 8 고정 및 이동 장애물 시험(창원 기동시험장)  
Fig. 8 Static and Moving Obstacle Test(Chanwon Proving Ground)

그림 8은 원통형, 장벽형 고정 장애물과 사람, 자동차 이동 장애물에 대해 제안된 알고리즘을 창원 기동시험장 운동장에서 시험한 결과이다. 그림 8의 배경 사진은 창원 기동시험장 운동장의 위성 사진이고, 원과 막대는 각각 원통형 및 장벽형 장애물이다. 또한, 별과 상단 중앙의 자동차 그림은 각각 사람과 자동차를 의미한다. 굵은 실선은 DGPS로 측정한 XAV의 이동궤적이고, 'O' 선은 테스트 트랙이다.

XAV의 시작 위치는 도로 운동장 우측 지휘대 앞이며 시계 방향 두 원을 연결한 아래쪽 직선과 왼쪽 원 왼쪽 외곽과 두 원을 연결한 위쪽 직선을 주행하고 오른쪽 원을 한 바퀴 돌고 그림 8의 '1' 지점에 멈춘다.

별 두 개 부분의 장애물은 XAV가 접근 시에 원을 따라 반시계 방향으로 천천히 전진하였으며, 별 세 개 부분의 장애물은 XAV가 접근 시에 좌우로 이동하였다. 자동차 장애물의 경우 XAV가 접근 시에 원의 안쪽으로 이동하도록 시나리오를 설정하였다.

그림 8의 고정 및 이동 장애물에 대해 XAV의 주행 궤적은 굵은 실선으로 나타내었다. XAV의 궤적에서 알 수 있듯이 XAV의 실시간 충돌 회피 알고리즘은 고정 및 이동 장애물에 대해 안전하게 회피를 수행함을 확인할 수 있었으며, '06년 6월 8일 "국방로봇 기술시범 및 워크숍"에서 공개 시연을 통해 그 효용성 및 실용성이 입증되었다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 무인차량 시스템에 적용 가능한 실시간 충돌 회피 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 VFH에 PFM를 적용 확장하여 1차원 공간에서 조향장, 장애물장, 통합장 개념들을 새롭게 사용하여 75Hz의 실시간으로 동작하는 무인차량을 위한 충돌 회피 기능을 구현하였다.

제안된 알고리즘은 XAV에 적용되어 최대 10KPH 속도에서 고정 및 이동 장애물에 대해 강인하게 충돌 회피가 수행됨을 실험과 시험을 통해 확인되었다.

제안된 알고리즘에 조향장의 분산, 조향장의 가중치, 장애물장의 가중치 등 파라미터 설정이 실험에 의해 식별되었다. 추후 차량 기구학, 동역학 모델과 차량의 속도가 고려된 적용적인 파라미터 설정 방법에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 2006년도 "국방로봇 선행핵심 및 유무인 상호운용 기술시범" 과제에 의하여 이루어진 연구로서, 관계기관 및 관련자분들께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 박용운, 강태하, "국방로봇과 자율화 기술의 발전 전망", 대한기계학회 기계저널, vol. 46, No, 5, pp. 44-49, 2006
- [2] P. Bellutta, R. Manduchi, L. Matthies, K. Owens, and A. Rankin, "Terrain perception for demo III", Proceedings of the 2000 Intelligent Vehicles Conference, Dearborn, MI, pp. 326-331, October 2000.
- [3] A. Lacaze, K. Murphy and M. DelGiorno, "Autonomous mobility for the demo III experimental unmanned vehicles", Proceedings of the AUVSI Conference, Orlando, July 2002.
- [4] A. Huertas, L. Matthies and A. Rankin, "Stereo-vision based tree traversability analysis for autonomous off-road navigation", Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Breckenridge, CO, January 2005.
- [5] A. Rankin, C. Bergh, S. Goldberg, P. Bellutta, A. Huertas and L. Matthies, "Passive perception system for day/night autonomous off-road navigation", Proceedings of the SPIE Defense and Security Symposium: Unmanned Ground Vehicle Technology VI Conference, Orlando, pp. 343-358, March 2005.

[6] 박용운, 류철형, 지태영, 최덕선, 김준, "JAUS 기반의 국방지상로봇 개발", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 875-888, 2005

[7] 박용운, 강태하, 강신천, 류철형, 지태영, 고정호, "개방형 아키텍처 기반의 자율주행 기술 구현", 국방 정보 및 제어 학술대회, pp.176-178, 2006

[8] 최덕선, 김준, 박용운, 지태영, "야지에서 주행하는 자율주행차량을 위한 전역경로계획", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 883-898

[9] 최덕선, 김준, 류철형, 박용운, "DEM과 장애물 지도를 이용한 거리변환 경로계획", 정보 및 제어 학술대회, pp.92-94, 2005

[10] TokSon Choe, Yong Woon Park, Jun Kim, Shincheon Kang, Tae Young Jee, Chulhyung Ryu, "A novel approach of global path planning for UGV", 2006 SPIE Defense & Security Symposium, Proc. of SPIE, vol. 6230, pp.816-823

[11] 이승연, 지태영, 박용운, 김준, 류철형, "야지자율주행 시스템을 위한 경로추적기법 연구", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp.875-878, 2005

[12] S. S. Ge and Y. J. Cui, "New potential field functions for mobile robot path planning", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 5, October 2000.

[13] Y. Koren and J. Borenstein, "Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation", Proceedings of IEEE Robotics and Automation Conference, pp.1398-1404, Sacramento, CA, April 7-12, 1991.

[14] Veelaert, P., Bogaerts, W., "Ultrasonic potential field sensor for obstacle avoidance", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.15, Issue 4, pp.774-779, Aug. 1999.

[15] Tsourveloudis, N. C., Valavanis, K. P., Hebert, T., "Autonomous vehicle navigation utilizing electrostatic potential field and fuzzy logic", IEEE Transactions on

Robotics and Automation, Vol.17, Issue 4, pp.490-497, Aug. 2001.

[16] J. Borenstein, Y. Koren, "The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp.278-288, June 1991.

[17] Ulrich, I., Borenstein, J., "VFH+: reliable obstacle avoidance for fast mobile robots", Proceedings of IEEE Robotics and Automation Conference, vol.2, pp.1572-1577, 16-20 May 1998.

[18] Ulrich, I., Borenstein, J., "VFH+: local obstacle avoidance with look-ahead verification", Proceedings of IEEE Robotics and Automation Conference, vol.3, pp.572-577, 24-28 April 2000.

[19] Dong An, Hong Wang, "VPH: a new laser radar based obstacle avoidance method for intelligent mobile robots", Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation, vol.5, pp.4681-4685, 15-19 June 2004.

저 자 소 개



**최 덕 선 (崔 德 善)**  
 1978년 1월 2일생. 2003년 연세대 기계전 자공학부 졸업. 2003년~2004년 연세대학교 전기공학과 대학원 석사 졸업, 2004년~현재 국방과학연구소 1체계-1부-2팀 근무  
 Tel : 042-821-2839  
 Fax : 042-821-2221  
 E-mail : tschoe@add.re.kr