

자율이동로봇의 효율적인 충돌회피를 위한 오도메트리 정보와 거리센서 데이터 융합기법

論 文

57-4-22

A Data Fusion Method of Odometry Information and Distance Sensor for Effective Obstacle Avoidance of a Autonomous Mobile Robot

徐 銅 辰* · 高 樂 溶†
(Dong-Jin Seo · Nak-Yong Ko)

Abstract - This paper proposes the concept of "virtual sensor data" and its application for real time obstacle avoidance. The virtual sensor data is virtual distance which takes care of the movement of the obstacle as well as that of the robot. In practical application, the virtual sensor data is calculated from the odometry data and the range sensor data. The virtual sensor data can be used in all the methods which use distance data for collision avoidance. Since the virtual sensor data considers the movement of the robot and the obstacle, the methods utilizing the virtual sensor data results in more smooth and safer collision-free motion.

Key Words : Virtual Sensor, Obstacle Avoidance, Laser Range Finder, Autonomous Mobile Robot

1. 서 론

본 논문에서는 작업공간 내의 로봇의 효율적인 충돌회피 동작을 위한 오도메트리 정보와 거리센서 데이터의 융합기법을 다룬다. 이동로봇의 구조가 기존의 경로유도 방식의 로봇에서 자율 이동형태의 로봇으로 발전되어 감에 따라서 로봇과 작업환경과의 충돌을 방지하기 위한 기술들이 많이 연구되고 있다. 로봇의 충돌회피를 위해서 기존에 제안된 방식들은 인공지능위계방법과 같은 방향 명령방식[1-6]이나 곡률기반방법[7-10]과 같은 속도 공간 명령 방식들로 크게 나눌 수 있으며, 대부분 로봇이나 장애물의 움직임이 고려되어 있지 않은 회피 방식이기 때문에 로봇이 빠른 속도로 이동하고 있는 경우에 장애물과의 충돌이 일어날 수 있다. 다시 말하자면, 로봇이 빠르게 이동하면 이동할수록 장애물의 회피를 위해 로봇의 움직임을 고려해야 할 필요성이 생기게 된다. 본 논문에서는 이러한 경우의 로봇의 이동성을 고려한 충돌제 검출에 효율적으로 적용될 수 있는 가상센서를 제안한다.

가상센서의 큰 특징 중의 하나인 로봇의 이동성 고려를 위하여 기존에 제안하였던 충돌회피가능도 개념[11-12]을 사용하였다. 충돌회피가능도는 로봇이 이동하고 있는 장애물 방향으로의 속도를 고려하여 로봇과 장애물과의 충돌회피 가능 정도를 나타낸다. 이미 충돌회피 가능도의 하나로서 로봇의 장애물 회피를 위해 제안된 상대거리와 가상거리를 이용한 개념이 있지만, 이러한 방법은 각 샘플링 타임에서의 로봇의 위치 정보와 장애물의 위치정보를 알고 있어야 한다

는 단점이 있다. 이런 이유로, 상대거리나 가상거리 알고리즘은 로봇이 외부의 도움 없이 로봇에 부착된 센서정보만을 이용하여 회피 동작을 수행하는 데는 적합하지 않다. 이에 반해, 가상센서는 로봇의 거리센서정보와 베이스의 엔코더 센서 정보를 조합하여(Fusion) 새롭게 만들어지는 가상적인 거리센서 값 이다. 다시 말해서, 가상센서는 로봇 자체적으로 적용되어 구현될 수 있으며, 여기에 인공지능위계 방법[1]이나 벡터필드 히스토그램[2][5][6], CVM[7], Lane[8], Elastic Strip[13-14] 알고리즘 등의 방법을 위한 센서정보로 적용되면 더 좋은 특성을 가지는 알고리즘으로 적용될 수 있다.

본 논문에서는 출발지점에서 목적지까지 이동하는데 발생할 수 있는 충돌을 피하기 위하여 충돌회피가능도를 적용한 가상센서의 개념을 적용하였다. 가상센서는 로봇의 엔코더 센서값과 획득된 거리센서의 값(Raw Sensor Data)을 융합하여 만들어지며, 로봇의 운동성을 포함하는 새로운 센서의 값으로 나타난다. 로봇의 충돌회피와 성능실험을 위하여 윈도우 XP기반에서 시뮬레이션 프로그램을 제작하였으며, 본 논문에서 제안한 가상센서와 센서에서 획득된 실제거리를 사용한 충돌회피 실험을 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 비교하였다. 성능의 효율성을 분석하기 위해 실제 거리를 사용하는 기존의 인공지능위계 방법에 의한 결과를 본 연구에서 제안한 가상센서를 이용한 인공지능위계 알고리즘과 비교한다.

본 논문은 2장에서 충돌회피가능도 개념을 적용한 가상센서를 유도한다. 3장에서는 제안된 알고리즘을 실험하기 위한 테스트 베드에 대한 간략한 설명을, 4장에서는 컴퓨터 모의 실험을 통해 제안된 방법의 효율성, 다른 방법과의 비교 결과 및 응용가능성을 보여준다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

* 正 會 員 : (주)레드윈테크놀로지 責任研究員 · 工博

† 교신저자, 正會員 : 朝鮮大 제어계측로봇공학과 敎授 · 工博

E-mail : nyko@chosun.ac.kr

接受日字 : 2008年 1月 8日

最終完了 : 2008年 1月 21日

2. 가상센서

정지된 물체 환경에서의 충돌회피 동작을 위해서는, 단지 로봇과 물체의 위치만을 고려하면 충분하다. 그러나 로봇의 이동하는 실시간 환경에서는 로봇의 이동성이 충분히 고려되어야 더 효율적인 로봇의 운영이 가능하다. 로봇의 이동성을 고려하는 가상센서를 유도하기 위하여 충돌회피 가능도의 개념을 이용한다.

2.1 충돌 회피 가능도(Avoidability Measure: AVM)

로봇과 장애물 사이의 거리는 이들 사이의 충돌 감지를 위해 사용될 수 있다. 또한 로봇이 이동하고 있으므로 로봇의 속도에 따라 충돌 가능성이 달라진다. 따라서 이동로봇의 충돌회피 가능도를 로봇과 장애물의 거리와 로봇의 이동속도에 의해 다음과 같이 정의할 수 있다.

시각 t 에서 로봇과 장애물의 충돌회피가능도는 로봇과 장애물사이의 거리 $d_{ro}(t)$ 와 로봇과 장애물에 대한 외향속도 $v_{ro}(t)$ 에 관한 함수로 다음조건을 만족시킨다.

- (조건1) 거리 $d_{ro}(t)$ 가 증가하면 충돌회피 가능도는 증가한다.
- (조건2) 로봇의 장애물로의 외향속도 $v_{ro}(t)$ 가 증가하면 충돌회피 가능도는 증가한다.

조건 1에서 로봇과 장애물 사이의 거리 $d_{ro}(t)$ 는 식 (1)과 같으며, 조건 2에서 외향속도 $v_{ro}(t)$ 는 로봇이 장애물로부터 멀어지는 방향으로의 로봇의 속도를 의미하며 식(2)와 같다. 로봇과 장애물 사이의 거리는 센서에서 얻어지는 거리 $d_{sn}(t)$ 로 표현될 수 있으며 센서가 감지할 수 있는 최대거리 이내에 있는 값이면 센서 값의 위치에 장애물이 있는 것으로 간주하는 것이 타당하다. 식 (1)에서 $P_r(t)$ 는 시각 t 에서의 로봇의 위치, $P_o(t)$ 는 시각 t 에서의 장애물의 위치 r_r 은 로봇의 반경을 나타낸다.

$$d_{ro}(t) = \| p_r(t) - p_o(t) \| - r_r = d_{sn}(t) \quad (1)$$

$$v_{ro}(t) = -\vec{v}_r(t) \cdot \vec{v}_{sn}(t) \quad (2)$$

로봇의 장애물에 대한 로봇좌표계에서 외향속도 $v_{ro}(t)$ 는 로봇의 방향 및 속도를 표현하는 로봇이동방향벡터 $\vec{v}_r(t)$ 와 센서방향거리벡터 $\vec{v}_{sn}(t)$ 와의 내적을 의미한다. 외향속도를 구하기 위해서는 로봇좌표계를 기준으로 각각의 거리센서가 측정하는 방향을 알아야 한다. 그러므로 식(1)을 방향을 포함하는 센서벡터 $\vec{v}_{sn}(t)$ 로 나타내면 식(3)로 다시 쓸 수 있다.

$$\vec{v}_{sn}(t) = d_{sn}(t) \angle \theta_{sn} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (3)$$

로봇의 이동방향을 표현하는 벡터를 구하는 부분에 있어서 $t-1$ 시각과 t 시각의 로봇의 위치정보를 이용하여 로봇의 이동방향을 결정하게 되면 그림 1의 A벡터처럼 로봇의 진행방향과는 다른 방향으로 속도방향이 결정되기 때문에 로봇의 직진속도와 회전속도를 산출하여 다음 샘플링 타임에 로봇이 이동할 곡률방향으로 이동벡터의 방향을 선택해

야 한다(벡터B). 로봇의 왼쪽바퀴의 속도를 V_l 오른쪽 바퀴의 속도를 V_r 이라고 할 때, 직진속도 tv 와 회전속도 rv 는 식 (4), (5)와 같이 구해진다.

$$tv = \frac{V_l + V_r}{2} \quad (4)$$

$$rv = \frac{V_l - V_r}{w} \quad (w: \text{휠 사이의 거리}) \quad (5)$$

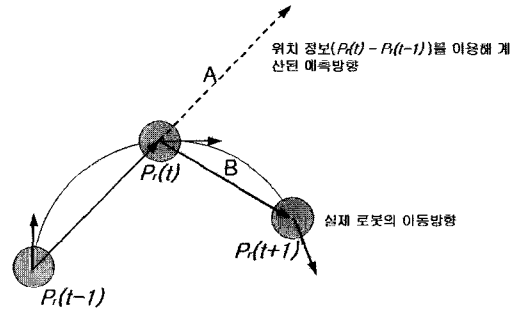


그림 1 일정한 속도명령에서 로봇의 실제 이동방향과 예측 방향

Fig. 1 Estimated robot direction on constant velocity command

직진속도 tv 와 회전속도 rv 를 알고 있을 때 로봇의 다음 샘플링 타임까지 이동할 수 있는 직진거리 d_r 과 회전각도 Φ_r 는 식 (6), (7)과 같다.

$$d_r(t, t+1) = tv \times \Delta t \quad (6)$$

$$\Phi_r(t, t+1) = rv \times \Delta t \quad (7)$$

위의 식에서 직진거리 d_r 과 회전각도 Φ_r 는 샘플링 타임 Δt 에 의해 커지거나 작아질 수 있다. 샘플링 타임이 짧으면 짧을수록 직진거리와 회전각도는 작아지게 되며, 샘플링 타임이 0에 가까워질 경우 회전각도와 직진거리 또한 0에 가까운 값이 산출되게 된다. 0에 가까운 회전각도와 직진거리를 이용하여 실제 거리센서에 적용하면 로봇의 이동성이 전혀 고려되지 못하게 된다. 또한 샘플링 타임이 너무 길게 되면 회전각도와 직진거리가 상대적으로 너무 큰 값이 계산되게 되어, 상대적으로 로봇의 이동성에 너무 민감하게 반응하게 된다. 따라서 현재 로봇으로부터 엔코더 데이터 획득 주기와 로봇의 현재 움직임에 맞도록 적절한 비례상수를 선택하여 직진거리와 회전각도를 선정해 줄 필요가 있다. 직진거리와 회전각도의 증폭을 위한 비례상수 α, β 를 추가하여 로봇의 이동방향벡터 $\vec{v}_r(t)$ 를 표현하면 식(8)로 정의될 수 있으며, 로봇의 직진운동이 회전운동보다 가상센서에 더 많은 영향을 미치도록 하기 위해서는 α 의 값을 β 보다 더 크게 설정하고, 반대로 회전운동이 더 크게 영향을 미치도록 하기 위해서는 β 를 더 크게 설정하면 된다. 일반적인 경우에는 α, β 를 샘플링 타임의 시간 길이에 따라 직진거리와, 회전각도가 같은 비율로 영향을 미치도록 동일한 값으로 설정하면 된다. 본 논문에서는 0.1초의 샘플링 타임을 가지는

로봇에 α, β 를 2로 설정하여 0.2초 동안 움직일 수 있는 거리를 영역센서의 값에 적용하여 실험하였다.

$$\vec{v}_r(t) = \alpha \cdot d_r \angle (\beta \times \Phi_r) \quad (8)$$

식(3)과 (8)에서 계산된 센서벡터와 로봇의 이동방향벡터를 이용하여 로봇의 장애물에 대한 외향속도 $v_{ro}(t)$ 를 정의하면 식(9)와 같다. 그림 2는 외향속도 $v_{ro}(t)$ 를 보여준다.

$$\begin{aligned} v_{ro}(t) &= -\vec{v}_r(t) \cdot \vec{v}_{sn}(t) \\ &= -|\vec{v}_r(t)| \cdot |\vec{v}_{sn}(t)| \cdot \cos(\theta_{sn} - \beta \times \Phi_r) \\ (n &= 0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (9)$$

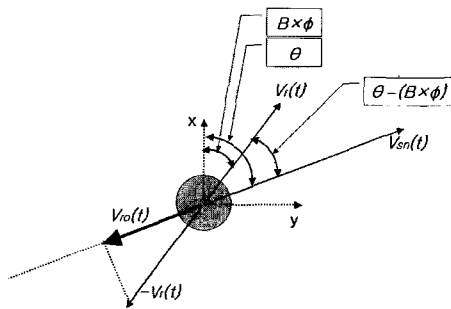


그림 2 로봇의 외향속도 ($v_{ro}(t)$)
Fig. 2 Outward speed of robots ($v_{ro}(t)$)

로봇의 장애물로의 외향속도가 구해지게 되면 각각의 센서에서 획득된 거리센서의 값에 적용하여 가상센서의 값들을 생성할 수 있게 된다.

2.2 가상센서(Virtual Sensor)

본 논문에서는 가상센서 $vsv_r(t)$ 의 값을 도출하기 위하여 식 (10)을 사용하였다. 식 (10)에서 $v_{ro}(t)$ 의 절대값이 Γ 값보다 커지지 않도록 Γ 를 설정하여야 한다. 만일 $v_{ro}(t)$ 의 값이 음수이고 그 절대 값이 Γ 값보다 크게 되면 $vsv_r(t)$ 이 예상하지 못한 값으로 가상거리가 생성될 수 있으므로 반드시 주의하여야 한다.

$$vsv_r(t) = \frac{\sqrt{(\Gamma + v_{ro}(t))^2}}{\sqrt{\Gamma^2}} d_{ro}(t) \quad (10)$$

여기에서 $\Gamma > \max\{|v_{ro}(t)|\} > 0, (\Gamma \in R)$

식(9)에서 구한 외향속도 $v_{ro}(t)$ 는 로봇이 장애물로부터 멀어지는 방향인 경우 증가하게 되고 로봇이 장애물에 가까워지는 방향인 경우 감소하게 된다. 이러한 성질이 적용된 가상센서는 로봇이 이동하는 방향에 있는 장애물은 실제거리보다 더 가깝게 나타나게 되고, 로봇이 멀어지는 방향에 있는 장애물은 실제거리보다 더 먼 거리로 나타나게 된다. 만일 Γ 값이 무한대에 가깝다면 우 방향에서의 실제거리 $d_{ro}(t)$ 와 곱해지는 부분이 1이 되게 되어 식(10)에서의 외향속도는 무시되게 되고 실제거리와 가상센서의 거리는 같게 된다. 만일 Γ 값이 외향속도 $v_{ro}(t)$ 의 변화에 영향을 받을 만

큼 작은 값이었을 때, 로봇이 장애물과 멀어지는 방향으로 이동하여 외향속도가 커지면 1보다 큰 값이 실제거리 $d_{ro}(t)$ 와 곱해지게 되어 가상센서의 거리는 더 크게 나오게 되며, 만일 로봇이 장애물에 다가가는 방향으로 이동하여 외향속도가 작아지면 1보다 작은 값이 $d_{ro}(t)$ 에 곱해지게 되어 더 작은 값이 가상센서의 결과 값으로 나타나게 된다. 정리하자면, Γ 값이 증가하면 외향속도가 가상센서의 결과에 미치는 영향이 줄게 되고, Γ 값이 감소하면 외향속도가 가상센서의 결과에 더 크게 영향을 미치게 된다. 그러나 Γ 값이 너무 작으면 로봇의 동작이 외향속도의 변화에 너무 민감하게 변화하여 불필요한 우회 동작을 하고 로봇의 궤적에 진동이 발생할 수 있다.

이상의 가상센서에 관한 고찰로부터, Γ 는 충돌 회피 여유도, 외향 속도에 대한 회피 동작의 민감성, 로봇의 속도 성능을 고려하여 결정하여야 한다.

3. 모의실험환경

3.1 모의실험 시나리오 및 시뮬레이션 프로그램

제안된 방법은 시뮬레이션 프로그램에 의해서 테스트 되었다. 다음의 3가지 경우에 대한 모의실험을 통하여 그 효용성과 적용성을 고찰하였다.

- (1) 1개의 장애물이 있는 경우의 로봇의 회피동작비교
- (2) 2개의 장애물이 있는 경우의 로봇의 회피동작비교
- (3) 3개의 장애물이 있는 경우의 로봇의 회피동작비교

장애물이 있는 경우의 실험에서, 실제 획득된 센서의 값과 가상센서의 값에 각각 Khatib의 인공전위계 알고리즘[1]을 적용하여 가상센서의 장단점을 고찰하였다.

모의실험을 위해서 그림 3과 같은 시뮬레이션 프로그램을 제작하였으며[15] 로봇은 Nomad Super Scout II를 모델링하여 실험하였다. 제작된 로봇은 16개의 초음파 센서가 장착되어 있으며 차륜구동형태의 베이스를 가지고 있다. 실제 제어되는 하드웨어 제어와의 차이를 고려하여, 로봇의 초당 명령어 처리회수는 10회로 제한하였다.

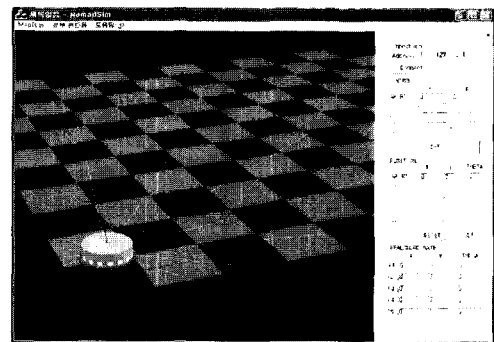


그림 3 제작된 모의실험 프로그램
Fig. 3 Robot Simulation Program

모의실험은 3가지의 경우를 가정하여 수행하였으며 상의 가상센서에 관한 고찰로부터, Γ 는 충돌 회피 여유도, 외향속도에 대한 회피 동작의 민감성, 로봇의 속도 성능을 고려하여 결정하여야 한다.

3.2 가상센서 기반의 인공지능위계

가상센서를 적용하기 위해 모의실험에서는 기존에 제안되어 있는 충돌회피 이론 중에서 가장 기본이 되는 Khatib의 인공지능위계를 구현하여 가상센서와 실제거리데이터와의 비교실험을 수행하였다. Khatib의 인공지능위계는 장애물과 로봇 사이에는 척력을 발생시키고 로봇과 목표점 사이에는 인력을 발생시키는 가상역장(Virtual Force Field)이다. 그러나 이 알고리즘에는 장애물 혹은 로봇의 이동성이 고려되어 있지 못하므로 센서에서 나오는 실제거리 값 대신에 로봇의 이동성이 고려되어 있는 가상센서 $vsv_r(t)$ 를 가상역장에 도입하여 개선된 인공지능위계를 구현할 수 있다. 가상센서의 형태는 실제 센서에서 출력되는 값과 1:1로 대응되므로 실제거리 데이터 대신에 가상센서 값을 대입하는 것만으로 개선된 성능을 얻어낼 수 있다. 인공지능위계는 $U_{art}(t)$ 는 인력 $U_g(t)$ 와 척력 $U_k(t)$ 로 구성되며, 각각의 전위는 (11), (12)부터 계산된다. 식 (13)이 기존의 인공지능위계 함수와 다른 점은 로봇과 장애물과의 실제거리 $d_{ro}(t)$ 대신에 가상센서에서 출력되는 $vsv_r(t)$ 를 사용했다는 것이 유일하게 다른 점이다.

$$U_{art}(P_r(t), P_o(t), P_g) = U_k(P_r(t), P_o(t)) + U_g(P_r(t), P_g) \quad (11)$$

$$U_k(P_r(t), P_o(t)) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{vsv_r(t)} - \frac{1}{\varepsilon} \right)^2 & \text{if } vsv_r(t) \leq \varepsilon \\ 0 & \text{if } vsv_r(t) > \varepsilon \end{cases} \quad (12)$$

$$U_g(P_r(t), P_g) = \frac{1}{2} \zeta |P_r(t) - P_{rg}|^2 \quad (13)$$

인공지능위계에 의해 $P_r(t)$ 에 위치한 로봇에 발생하는 힘은 식 (14)와 같이 인공지능위계의 그라디언트(Gradient)로부터 구해진다.

$$\begin{aligned} F_{art}(P_r(t)) &= -grad(U_{art}(P_r(t), P_o(t), P_g)) | P = P_r(t) \\ &= -grad(U_k(P_r(t), P_o(t)) | P = P_r(t) \\ &\quad - grad(U_g(P_r(t), P_g)) | P = P_r(t) \\ &= F_o(P_r(t)) + F_g(P_r(t)) \end{aligned} \quad (14)$$

장애물로부터의 척력 $F_o(P_r(t))$ 는 로봇이 다른 로봇에 접근 할수록 로봇을 밀어내는 방향으로 커지고, 목표점으로서의 인력 $F_g(P_r(t))$ 는 로봇이 목표점에 접근할수록 작아진다. 따라서, 인공지능위계에서 발생하는 힘을 바탕으로 로봇에 발생하는 힘을 계산하여 로봇이 자연스럽게 목표점으로 이동한다.

4. 모의실험결과

4.1 작업공간에 1개의 장애물이 있는 경우

경우 1에서는 작업영역에 1대의 로봇과 1개의 장애물 객체만이 존재한다. 가상센서의 성능을 분석하기 위해 로봇은 시작지점에서 목표지점까지 2번의 주행을 수행하게 되며, 한번은 아무 가공도 되지 않은 실제 센서 값을 가지고 회피를 수행하고, 다른 한번은 로봇의 움직임이 고려된 가상센서 값을 가지고 회피를 수행한다. 표 1은 경우 1에서 로봇의 출발점과 목표점을 보여주며, 표 2는 경우 1, 2, 3에서 사용된 파라미터들을 보여준다.

표 1 경우 1에서 로봇의 출발점과 도착점

Table 1 Starting position and goal position for the case 1

	출발점	도착점
로봇	(0, 0)	(4, 2)

표 2 경우 1,2,3에서 로봇에 사용된 파라미터 값

Table 2 Parameter value of the robots for the case 1, 2, 3

	α	β	Γ	η	ε	ξ
가상센서	20	20	2	1	1	0.005
실제센서	Don't Care			1	1	0.005

경우 1에서 로봇의 이동경로는 그림 4의 형태로 나타났으며, 실제 센서 값을 사용한 경우와 가상 센서 값을 사용한 경우의 경로상에 나타나는 가장 큰 차이점은 a지점에서 확인할 수 있다. a지점에서 실제센서를 사용한 경우의 로봇은 가상센서를 사용한 경우의 로봇보다 더 늦게 회피동작을 수행하여 급격하게 로봇의 진행각도가 변화된 것을 확인할 수 있으며, 그 결과로 가상센서의 경우는 더 완만하게 로봇의 궤적이 생성된 것을 확인할 수 있다. 표 3에서는 경우 1에서의 로봇의 충돌회피 여유도를 보여준다.

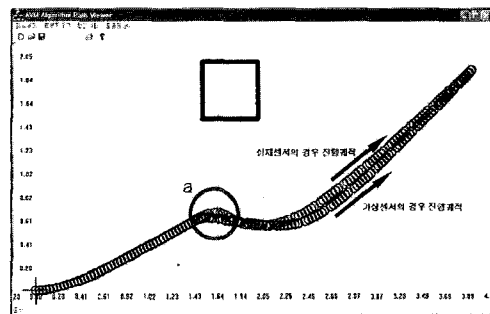


그림 4 경우 1에서의 로봇의 이동궤적

Fig. 4 Robot trajectory for the case 1

표 3 경우 1에서 로봇의 충돌회피 여유도

Table 3 Safety margin for the robot for the case 1

	충돌회피여유도
실제센서	0.820m
가상센서	0.864m

4.2 작업공간에 2개의 장애물이 있는 경우

경우 2에서는 작업영역에 1대의 로봇과 2개의 장애물 객체가 존재한다. 표 4는 경우 2, 3에서 로봇의 출발점과 목표점을 보여주며, 로봇에 사용된 파라미터들은 경우 1과 같은 값들이 사용되었다.

표 4 경우 2, 3에서 로봇의 출발점과 도착점

Table 4 Starting position and goal position for the case 2, 3

	출발점	도착점
로봇	(0, 0)	(4, 3)

경우 2에서의 로봇의 이동궤적은 그림 5와 같으며 경우 1에서와 마찬가지로 a지점에서 실제센서의 경우의 궤적은 더

급격한 변화를 보이며 c와 d지점에서 목표지점으로의 로봇의 진행방향과 척력이 늦게 발생함으로 인해 실제센서의 경우에는 궤적의 급격한 변화와 궤적의 흔들림이 보임을 알 수 있다. 이에 반해, 가상센서를 사용한 경우는 회피 동작을 일찍 수행함으로 인해 로봇의 진행궤적이 상대적으로 원만한 곡선을 그리고 있음을 확인할 수 있다. 표 5에서는 경우 2에서의 충돌회피 여유도를 보여준다.

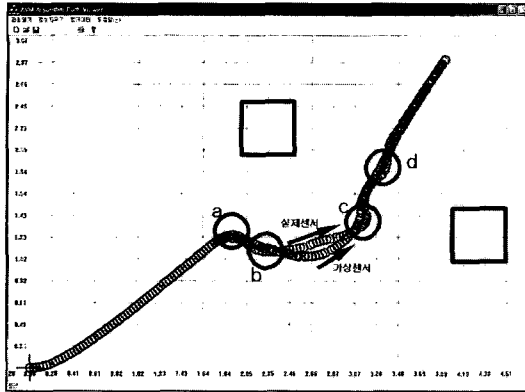


그림 5 경우 2에서의 로봇의 이동궤적
Fig. 5 Robot trajectory for the case 2

표 5 경우 2에서 로봇의 충돌회피 여유도
Table 5 Safety margin for the robot for the case 2

	충돌회피여유도
실제센서	0.775m
가상센서	0.760m

4.3 작업공간에 3개의 장애물이 있는 경우

경우 3에서는 작업영역에 1대의 로봇과 3개의 장애물 객체가 존재하게 되며, 로봇의 출발점과 목표점, 그리고 파라미터들은 경우 2와 동일한 값들이 사용되었다. 그림 6은 경우 3에서의 로봇의 이동궤적을 보여주며, a영역에서 가상센서의 경우가 더 빨리 회피동작을 수행하여 실제 센서를 사용한 경우보다 b영역에서의 흔들림이 덜 발생하였다. 실제 센서의 경우 c영역에서 회피동작을 더 늦게 수행하는 이유로 더 급격한 궤적의 변화를 보여줌을 알 수 있다. 그림 7에서는 경우 3에서 로봇의 궤적형태의 비교를 위해 가상센서의 경우와 실제센서의 경우의 궤적을 각각 보여주며, 표 6에서 충돌회피여유도를 보여준다.

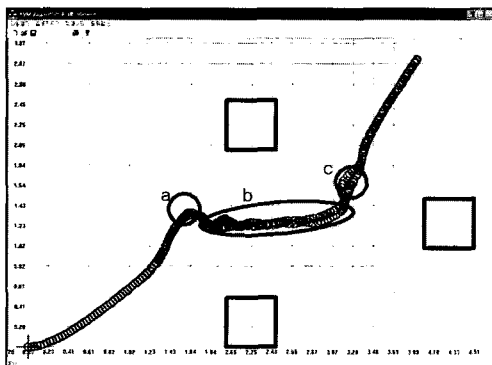


그림 6 경우 3에서의 로봇의 이동궤적
Fig. 6 Robot trajectory for the case 3

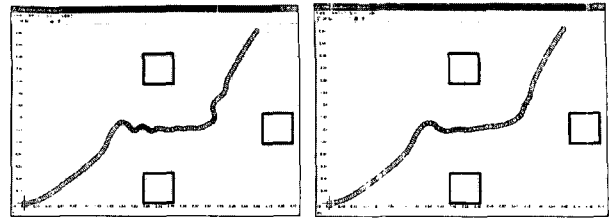


그림 7 경우 3에서의 이동궤적(좌:실제센서, 우:가상센서)
Fig. 7 Trajectories for the case 3(L:Real, R:Virtual)

표 6 경우 3에서 로봇의 충돌회피 여유도
Table 6 Safety margin for the robot for the case 3

	충돌회피여유도
실제센서	0.711m
가상센서	0.706m

5. 결 론

본 논문에서는 작업공간 내의 로봇의 효율적인 충돌회피 동작을 위한 오도메트리 정보와 거리센서 데이터의 융합방법을 제안하였다. 이 방법의 특징은 다음과 같다.

- (1) 가상센서는 로봇의 엔코더 신호와 센서의 데이터를 융합하여 새로이 생성되는 센서의 값으로 가상센서에서 출력되는 데이터는 로봇이 이동하고 있는 이동성을 고려한 값으로 나타내어진다.
- (2) 제안된 가상센서는 기존에 제안되어 있는 충돌회피 알고리즘의 가공되지 않은 센서데이터에 1:1로 적용이 가능하여 개선된 회피 알고리즘의 제작을 가능하게 한다.
- (3) 본 논문에서 제안한 충돌회피 방식은 로봇이 장애물로 접근하는 방향으로 이동하고 있는 경우 센서의 값이 더 작게 나타나게 되어, 로봇이 미리 충돌회피 동작을 시작하게 한다. 반대로 로봇과 장애물이 가까이 있더라도 장애물로부터 멀어지는 방향으로 로봇이 이동하게 되면 센서의 값이 더 크게 나타나게 되어 로봇이 장애물의 회피를 덜 고려하게 된다. 이에 반해 실제의 센서 값을 사용하는 방법에서는 제안된 방법보다 더 늦게 회피동작이 시작된다. 그래서 때때로 로봇이 장애물과 충돌하거나, 회피를 위해 급격한 동작을 하기도 한다.
- (4) 모의 실험결과에서도 알 수 있는 바와 같이 가상센서를 사용하며 기존의 인공전위계를 이용한 방법에 비해서 좀 더 안전하게 이동이 가능하다.
- (5) 로봇의 속도특성에 따라 파라미터 a , β 그리고 Γ 를 조절하여 성능을 향상시킬 수 있다. 일반적으로 속력이 빠른 로봇에 대응되는 값은 크게 하고 속력이 작은 로봇에 대응하는 값은 작게 하여 로봇의 이동성이 충분히 가상센서에 영향을 미칠 수 있게 하고, 충분한 충돌 회피 여유도를 가질 수 있게 하는 것이 로봇의 이동성능을 좋게 한다.

제안된 가상센서는 엔코더와 거리센서 조합만으로 만들어질 수 있는 장점이 있으며, 관성센서 등의 로봇의 위치 판단

에 적용될 수 있는 센서를 엔코더 정보 대신 사용할 수 있는 장점이 있다. 가상센서를 만드는 경우 적절한 파라미터를 사용하지 않으면 로봇의 움직임에 너무 민감하게 반응하는 센서의 값을 얻어낼 수 있으므로 로봇의 속도특성에 따른 적절한 파라미터의 선택이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," *The Int. J. Robotics Research*, Vol. 5. No. 1, pp.90-98, Spring, 1986.

[2] Boernstein, J. and Koren, Y., "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," *IEEE Transaction on Robotics Automation*, Vol.7, No.3, pp.278-288, June, 1991.

[3] Borenstein, J. and Koren Y. "Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors," *IEEE Journal of Robotics*, Vol.4, No.2, pp.213-218, 1988

[4] Shi, Enxiu Cai, Tao He Changlin Guo, Junjie, "Study of the New Method for Improving Artificial Potential Field in Mobile Robot Obstacle Avoidance," *Automation and Logistics IEEE International Conference on*, pp 282-286, Jinan, China, 2007

[5] Gong, Jianwei Duan, Yulin Man, Yiming Xiong, Guangming, "VPH+:An Enhanced Vector Polar Histogram Method for Mobile Robot Obstacle Avoidance," *Mechronics and Automation, ICMA 2007 International Conference on*, pp 2784-2788, Harbin, China, 2007

[6] 김홍열, 김대원, 김홍석, 손수경, "네트워크 기반 자율이동로봇을 위한 장애물 회피 알고리즘 개발" 대한전기학회논문지, D권, 54:55, pp539-546, 2005

[7] R. G. Simmons, "The Curvature-Velocity Method for Local Obstacle Avoidance," In 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3375-3382, Minneapolis MN, April 1996.

[8] Nak Yong Ko and Reid G. Simmons, Koug Suk Kim, "A Lane Based Obstacle Avoidance Method for Mobile Robot Navigation," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 17, No. 11, pp.1693-1703, 2003.

[9] A. Kelly, "An intelligent predictive control approach to the high speed cross country autonomous navigation problem," Tech Report CMU-CS-TR-95-33, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1995.

[10] Schlegel, C, "Fast local obstacle avoidance under kinematic and dynamic constrains for a mobile robot," *Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference on*, Vol 1, pp 594-599, 1998

[11] 고낙용, 서동진, "다중 이동 로봇의 중앙 감시에 의한 충돌 회피 동작조정 방법" 대한전기학회논문지, D권 52:44, pp 223-232, 2003.

[12] Ko, Nak Yong and Bum Hee Lee, "Avoidability Measure in Moving Obstacle Avoidance Problem and Its Use for Robot Motion Planning," *International Conference in Intelligent Robots and Systems(IROS 1996)*, pp 1296-1303, 1996

[13] Nak Yong Ko, Reid G. Simmons and Dong Jin Seo, "Trajectory Modification Using Elastic Force for Collision Avoidance of a mobile Manipulator," *9th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence(PRICAI 2006)*, volume 4099, pp 190-199, 2006

[14] Brock, O, Khatib, O. "Elastic Strips : A Framework for motion Generation in Human Environments," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 21, No. 12, pp 1031-1052, Dec 2002

[15] Nak Yong Ko, Dong Jin Seo et al, "3-Dimensional Simulator for Multiple Robot System using TCP-IP," *The IASTED Conference on Software Engineering*, pp130-135, 2007

저 자 소 개



서 동 진 (徐銅辰)

1974년 12월 22일생. 2000년 조선대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 2002년 조선대 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2006년 동대학원 제어계측공학과 졸업(박사), 2004~2005 미국 Carnegie Mellon Univ. Visiting Student Scholar, 2006. (주)한국에센 연구원, 2007년~현재 (주)레드윈테크놀로지 부설 로봇연구소 책임연구원
Tel : 062) 373-2024
Fax : 062) 373-2022
E-mail : commidi@gmail.com



고 낙 용 (高樂溶)

1961년 3월 13일생. 1985 서울대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 1987 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사) 1993 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사) 1997~1998 미국 Carnegie Mellon Univ. Visiting research scientist, 2004~2005 미국 Carnegie Mellon Univ. Visiting research scientist, 1992~현재 조선대학교 정보제어계측공학부 교수
Tel : 062) 230-7108
Fax : 062) 224-1987
E-mail : nyko@chosun.ac.kr