

탄성력을 이용한 실시간 장애물 회피에 관한 연구

최경현*, 조수정⁺, 양형찬⁺

(논문접수일 2007. 1. 18, 심사완료일 2007. 8. 22)

A Study on the Real-Time Obstacle Avoidance Using Elastic Force

Kyung Hyun Choi*, Su Jeomg Cho⁺, Hyoung Chan Yang⁺

Abstract

This paper proposes the Elastic force application on the obstacle avoidance of Silvermate robots. The method deals with the problem associated with a Silvermate robot driving to a goal configuration as avoiding obstacles. The initial trajectory of a robot is determined by a motion planner, and the trajectory modification is accomplished by adjusting the control points. The control points are obtained based on the elastic force approach. Consequently the trajectory of a robot is incrementally modified to maintain a smooth and adaptive trajectory in an environment with obstacles. The suggested algorithm drives the robot to avoid obstacle in real-time. Finally, The simulation studies are carried out to illustrate the effectiveness of the proposed approach.

Key Words : Silvermate robots(실버메이트 로봇), Elastic force(탄성 힘), Obstacle avoidance(장애물회피), Control point(제어 점)

1. 서론

최근 들어 로봇은 유해하고 위험한 작업환경 하에서 인간을 대신하고 있으며 현재에는 노인 및 장애인을 대신하는 실버산업의 주역으로서 역할이 기대 되고 있다. 이런 인간과 조화를 이루는 환경 하에 인간의 보조역할을 수행하기 위해서는 이동기능 및 작업능력 이외에도 불확실한 환경에서 자유자재로 대체할 수 있는 모바일-머니플레이터 로봇 개발이 필요하다. 모바일-머니플레이터 로봇이 가져야 할 기본적인

기능들은 주어진 환경에 대한 인식을 통하여 스스로 판단할 수 있는 기능, 이동해야 할 경로(path) 및 궤적(trajectory)들을 실시간으로 생성하는 기능이다. 이를 위해서는 주위 환경을 실시간으로 인식 및 회피하기 위한충돌회피 알고리즘 개발이 이루어져야 한다.

최근 들어 실시간 장애물 회피에 대한 연구에 있어서 많은 연구가 수행되었다. 장애물 표현을 위한 확실성 격자(Certainty Grid)⁽¹⁾방법을 제안한 Morayec. H.P.은 Certainty value(CV)값을 나타내어 장애물의 존재 가능성을 나타내었다. 하지만

* 제주대학교 메카트로닉스공학과 (khehoi@chju.ac.kr)

주소: 690-756 제주도 제주시 제주대학로 66

+ 제주대 기계에너지시스템공학부 대학원

부적합한 센서에 있어서 장애물의 거리측정에 용이하지만 CV값의 부정확함으로 인해 로봇의 이동에 많은 문제를 일으키고 있다. Khatib는 장애물 접근 시 공간상의 물체 사이에 가상의 힘이 작용하여 그 힘에 의해 운동하도록 하는 인공 전위계(Artificial potential field: APF)⁽²⁾ 방법을 제안하였으며, 모바일 로봇의 실시간 동작 계획을 위하여 인공 전위계 개념에 장애물을 표현하기위한 확실성 격자 개념을 합쳐서 가상 역장(virtual force field: VFF)을 도입한 방법이 제안되었고, 이것을 발전시킨 벡터장 히스토그램(vector field histogram: VFH)^(3*)방법이 제안되었다. 이러한 방식은 로봇이 장애물과 충돌하지 않는 경로를 찾아내는 데는 효율적이었으나, 많은 경우 로봇의 동력학적인 제한들을 고려하지 않아서 실제 로봇이 이동할 때 좁은 통로를 빠져나가지 못하는 문제를 발생시킨다⁽¹⁾.

Khatib가 제안한 Elastic Strip^(4,5) 방법은 로봇의 궤적을 탄성물질이라 가정하여 장애물을 실시간 회피하도록 하였다. 장애물 접근 시 물체 사이에 가상 힘이 작용한다는 것에서는 인공전위계 개념과 유사하나 목표지점까지의 도달 동안 척력(repulsive force)외에도 탄성력(elastic force)이 작용한다는 데서 인공전위계 방식보다는 보다 안정된 주행 기술을 보인다. 또한 여러 자유도를 갖는 로봇에 적용이 용이하며 동작 계획(motion planning)과 동작 실행(motion execution)의 동시 통합에 효과적이며 동적이고 불확실한 환경에서의 실시간 장애물회피에 대한 최적화된 알고리즘을 구사한다.

본 논문에서는 Elastic force를 이용하여 목표위치까지 로봇이 안전한 경로를 생성하여 이동할 수 있는 충돌회피 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 단원은 다음과 같이 진행된다. 다음 2장에서는 하이브리드 제어 계층의 Reactive 층을 제안하고, 3장에서는 이 논문에서 제안하는 Elastic force이용한 장애물회피 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 유효성을 시뮬레이션을 통해 보이고, 5장에서 결론이 제시될 것이다.

2. 하이브리드 제어 구조

제어 구조는 로봇의 행동을 결정하는데 있어 주변의 환경 변화의 고려 여부에 따라 인정(認定)층(Deliberative layer)과 반응(反應)층(Reactive layer)으로 나누어진다. 인정층은 구축된 지식정보를 활용하여 이동궤적을 생성하고, 생성된 궤적이 순차적으로 수행할 수 있도록 하며, 복잡한 태스크(task)를 최적화하여 수행해야 하는 관점에서 상위계층의

태스크를 결정할 시에 효과적이다⁽⁶⁻⁸⁾.

Fig. 1은 본 연구에서 제안하고 있는 제어구조는 3개의 계층 구조로서 인정층과 반응층 이들 사이의 원활한 정보전달을 도와주는 결순(決順)층(Sequencing layer)으로 이루어진다. 인정층은 인간으로부터 주어지는 명령을 로봇이 실행할 수 있는 기계어 명령으로 바꾸는 역할을 담당하며, 로봇이 감당해야 할 임무를 수행부분과 조작부분으로 나누어 계획하는 역할을 한다. 결순층은 인정층에서 생성된 작업계획을 실행하기 위해 센서로부터 획득된 정보를 가공하여 순차적인 정보를 생성하는 계층이다. 결순층의 자율주행모듈은 많은 시간을 요하는 정교한 알고리즘을 사용하여 고차원적인 정보를 센서로부터 생성하여 반응층에 전달한다.

마지막으로 반응층은 본 논문에서 초점을 두고 있는 제어 구조 상의 최하위 층으로써 상위계층에서 내려오는 명령을 실행하고 임의의 환경에서 장애물이 나타났을 때 실시간으로 대응하며, 실시간으로 장애물에 대하여 인간 및 로봇의 안전을 보장하기 위해 센서와 액추에이터의 단단한 결합이 이루어진다.

반응층은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 크게 센서 등의 하드웨어에 들어온 값의 정보를 담고 있는 리소스(Resources)와 결순층의 모바일 감시자(Mobile supervisor), 암 감시자(Arm supervisor)에서 로봇의 이동 목표를 입력받아 목표치까지 로봇의 실시간 반응을 돕는 장애회피모듈(Obstacle avoidance module)이 존재하게 된다. 장애회피모듈은 다시 모바일부와 마니푰레이터의 회피를 담당하는 주 모발-암 장애회피모듈(Master mobile-arm obstacle avoidance module), 종속모발-암 장애회피모듈(Slave mobile-arm obstacle avoidance module)로 나뉜다.

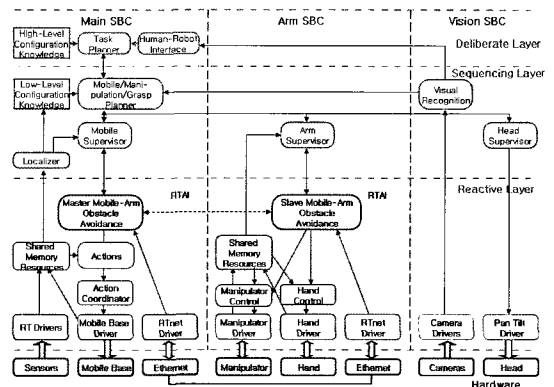


Fig. 1 Proposed hybrid control architecture

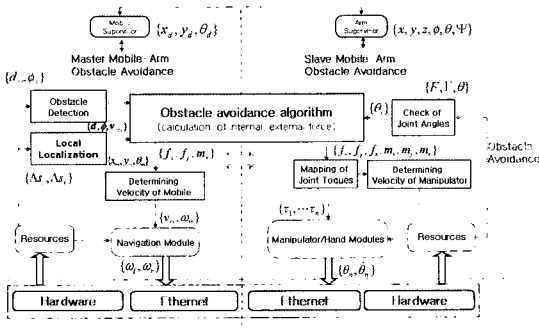


Fig. 2 Mobile-Arm Obstacle Avoidance Modules

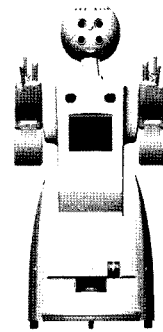


Fig. 3 The Silvermate robot having mobile base and seven joint manipulator

주 모바일-암 장애회피모듈은 리소스에 저장된 장애물의 정보를 받아 실제 거리 및 방향 정보 전달을 담당하는 장애물 감지기(Obstacle detector)와 현재 로봇 자신의 위치에 관한 정보를 알리는 지역 위치 측정기(Local localization)와 모바일 각 속도 결정기(Determining velocity of mobile)가 존재한다.

종속모바일-암 장애회피모듈은 현재 로봇 관절의 각도에 관한 정보를 가지고 있는 조인트 확인자(Check of joint angles)와 직교 좌표계 값을 각 관절 좌표계의 값으로 변환하는 조인트 매핑기(Mapping of joint torques), 장애물의 반응에 대한 조인트의 회피 속도에 관여하는 조인트 속도 결정기(Determining velocity of manipulator)로 구성된다. 모바일과 머니플레이터의 장애물에 대한 회피위치 및 방향을 결정하는 장애회피 알고리즘(Obstacle avoidance algorithm)모듈로서 이동방향이 결정되면 각각의 모바일의 각속도 결정기와 조인트 속도 결정기를 통하여 장애물의 회피속도 및 각속도를 결정하게 된다.

3. 로봇 기구학

본 연구에 사용된 실버메이트 로봇은 Fig. 3과 같이 7자유도를 가진 머니플레이터가 모바일의 양쪽 직렬 결합으로 연결되어 있다. 모바일로봇은 이륜구동 방식으로 주행을 하며 LRF, IR, Sonar Sensor가 부착되어 있어 환경에 대한 정보를 알 수 있다.

모바일 및 머니플레이터는 로봇의 전역 좌표계에서 속도 기구학을 통해 나타낸다. 모바일은 로봇의 상태를 위치와 방향을 갖는 벡터 ${}^jP_m = [x_m \ y_m \ \phi_m]^T$ 로 표현되고, 머니플레이터는 직교좌표 공간상에서의 조인트의 위치를 ${}^jP_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$ 과 같이 표현한다. 본 논문상에서 머니플레이터 관절변수들의

벡터를 $q = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6 \ \theta_7]^T$ 으로 나타내도록 하겠다^(9,10). 여기서 jP_m 는 모바일의 중점 위치에 해당하며 jP_i 는 i 번째 조인트의 순서를 나타내며 j 는 다음 단원에서 설명 될 로봇 자세(robot posture)⁽¹⁰⁾의 순서에 해당한다.

모바일-머니플레이터의 바닥면의 전역 좌표계에 대한 손끝의 선속도와 각속도를 구하기 위하여 다음의 식 (1)을 통하여 자코비안 행렬 J_i ⁽¹²⁾를 구할 수 있다.

$$\dot{P} = \begin{pmatrix} J_m \\ \dots \\ J_i \end{pmatrix} \dot{q}_i = J_i \dot{q}_i \quad (i = m, 1, \dots, 7) \quad (1)$$

4. 장애물 회피 알고리즘

모바일-머니플레이터의 자율 주행 기술 중 안전성의 평가에서 장애물 회피는 가장 기본적이고 중요한 기술이라 할 수 있다. 앞에서 설계된 식을 바탕으로 모바일-머니플레이터 로봇의 실시간 장애물 회피 알고리즘 설계한다.

4.1 로봇 자세 및 제어 점

Elastic force 방법은 초기에 동작계획기(motion planner)에 의해 생성되어진 궤적을 따라 주행 중에 장애물을 감지하게 되면 매 샘플링 시간에 따라 궤적의 변형을 일으키게 된다.

궤적 변형을 위해서는 먼저 로봇 자세 설정이 요구된다. 여기서 말하는 로봇 자세는 초기 자세와 목표 점 도착 당시의 자세를 포함한 이들 사이에 일정 시간마다 설정된 자세 즉 형상(configuration)을 말한다. 이들 로봇 자세 설정이 많지 않으면 장애물 반응 시 부드러운 주행을 하겠지만 많은 계산이 요구되며 로봇 자세가 충분히 설정되지 않으면 동작계획

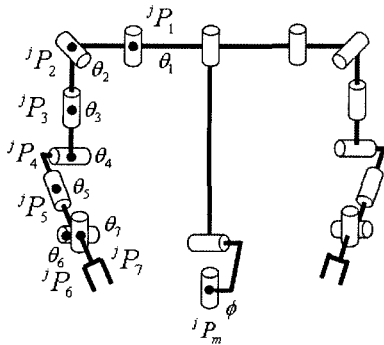


Fig. 4 Control points on the body

기에서 설정된 궤적과 장애물의 충돌이 없다 하여도 실제 장애물과 충돌할 수 있으므로 충분한 로봇자세를 요구한다⁽¹¹⁾.

로봇 자세 변형에 있어서 장애물의 충돌 회피를 위해 회피 알고리즘 계산을 통한 가상적 힘을 받는 부분인 제어 점(control points)^(3,4) 설정이 요구된다. 제어 점 설정에 있어서 가상 힘에 의한 로봇의 변형이 이루어지기 위해서는 조인트에서 쉽게 변형이 가능하므로 본 논문에서는 앞서 소개된 jP_i ($i = m, 1, \dots, 7$)에서의 j 번째 로봇 자세에서 i 번째 조인트의 위치를 제어 점으로 모두 선택하도록 하며 Fig. 4와 같이 연구에 사용되는 로봇의 제어 점을 설정하였다.

4.2 Elastic Force의 작용

탄성력(Elastic Force)은 로봇과 장애물 사이에 척력(Repulsive force)을 발생시키고 로봇과 목표점 사이에는 인력(Attractive force)을 발생시키는 가상의 역장을 이용한 알고리즘으로, 이 역장에서 발생하는 힘에 따라 로봇을 이동하게 함으로서 장애물과의 충돌 회피를 도와준다^(4,5,11). Elastic force는 장애물로부터 척력이 발생하여 장애물로부터 멀어지는 방향으로 궤적의 변형을 일으켜 매끄럽게 궤적을 재 생성한다. 실버메이트 로봇에 작용하는 척력을 구하기 위해서 인공 전위계방식을 적용한다.

$$V_{rep}({}^jP_i) = \begin{cases} \frac{1}{2}k_r(d_r - d({}^jP_i))^2 & \text{if } d({}^jP_i) < d_r \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 jP_i 는 위치벡터이며, $d({}^jP_i)$ 는 jP_i 로부터 가장 가까운 장애물과의 거리, d_r 는 장애물 주위에 영향을 주는 가상거리에 해당한다. 여기서 k_r 은 장애물 접근 시 로봇에 가해지는 척력 작용에 의한 회피 반응정도를 나타내는 계인

(gain)값을 나타낸다.

인공 전위계에 의해 jP_i 에 발생되는 힘은 다음 식 (3)과 같이 $V_{rep}({}^jP_i)$ 에서의 그라디언트(gradient)로부터 구해진다. 여기서 \vec{d} 는 jP_i 와 가장 가까운 장애물까지의 벡터 값을 나타낸다.

$${}^r f_i = -\Delta V_{rep}({}^jP_i) = k_r(d_r - d({}^jP_i))\frac{\vec{d}}{d} \quad (3)$$

식 (3)이 장애물을 회피하기 위해서 밖으로 밀어내는 외부 힘이라면 인력은 로봇이 장애물과 떨어질 때 궤적이탈을 방지하기 위한 척력에 저항하는 내부 힘에 해당한다.

로봇의 인력 계산을 위해서는 로봇 자세에 관한 형상이 고려되어야 한다. 샘플링 시간이 $t-1, t, t+1$ 일 때의 각각의 로봇 자세는 ${}^{j-1}P_i, {}^jP_i, {}^{j+1}P_i$ 으로 나타낸다. ${}^{j-1}P_i$ 는 현재 형상 jP_i 의 바로 전의 $j-1$ 번째 로봇 자세에 해당하며 ${}^{j+1}P_i$ 는 초기 경로 계획기(Path Planning)에 의해 계획된 로봇 자세를 말한다.

이들 로봇 자세 ${}^{j-1}P_i, {}^jP_i, {}^{j+1}P_i$ 사이에는 i 번째 제어 점 각각이 로봇 자세 사이에 연결되어 있는데 이들은 마치 스프링 힘이 작용하는 것과 같은 탄성 힘이 작용하게 된다^(3,4). jP_i 에서 작용하는 힘은 ${}^{j-1}P_i$ 과 ${}^{j+1}P_i$ 의 계산에 의하여 다음 식 (4)와 같이 새로운 힘의 결합 이뤄진다.

$${}^e f_i = k_c \left(\frac{d_i^{j-1}}{d_i^{j-1} + d_i^j} ({}^{j+1}P_i - {}^{j-1}P_i) - ({}^jP_i - {}^{j-1}P_i) \right), (i = m, 1, \dots, 7) \quad (4)$$

여기서 d_i^j 는 ${}^jP_i, {}^{j+1}P_i$ 사이의 거리인 스칼라 값이고, k_c 는 탄성의 힘 즉 장애물 회피 정도를 나타내기 위한 수축 계인 값이다. 이 제어 점들에 의해 생성되는 탄성의 힘은 장애물 존재 구간에서의 궤적의 모양뿐만 아니라 탄성 정도에도 영향을 끼치게 된다.

최종적으로 장애물에 의한 Elastic Force에 영향을 끼치는 힘들은 식 (5)와 같이 식 (3), (4)의 척력과 인력을 결합한 최종 힘을 얻는다.

jF_i 는 제어 점 i 에서의 받는 Elastic Force이며 다음과 같이 벡터 ${}^jF_i = [{}^j f_{i,x} \ {}^j f_{i,y} \ {}^j f_{i,z}]^T$ 와 같이 표현된다.

$${}^jF_i = {}^r f_i + {}^e f_i, \quad (i = m, 1, 2, \dots, 7) \quad (5)$$

4.3 궤적의 변형

앞 절의 각 점에서 주어지는 힘들은 Elastic force에 의하여 로봇자세 변형과 동시에 궤적의 변형을 일으키며 실시간 충돌회피를 하게 된다.

모바일은 식 (5)에서 계산된 jF_i 의 가상 힘으로서 jP_m 의 값이 실시간 업데이트되며 이와 동시에 머니플레이터의 조인트 역시 직교좌표계에서 조인트 값의 위치가 업데이트 되므로 각 조인트의 회전에 의한 실제 이동을 위해서는 조인트 좌표계에 관하여 기술되어야 한다. 식 (6)은 머니플레이터의 각 제어 점에 관하여 계산된 jF_i 에 대한 식 (1)의 자코비안 행렬의 역행렬과의 계산에 의해 링크의 회전속도 및 힘에 관한 토크 값을 얻어낸다. 이때 ${}^j\tau_{i,i}$ 는 i 번째 조인트에 의해 나머지 조인트들의 변형되는 값을 나타낸다. 즉, ${}^j\tau_{i,i} = [\tau_1 \ \tau_2 \ \dots \ \tau_i]^T$ 다음과 같이 나타낼 수 있다.

앞서 계산된 ${}^j\tau_{i,1}, {}^j\tau_{i,2}, \dots, {}^j\tau_{i,7}$ 의 값들은 각 조인트 들끼리의 합계 계산에 의해서 최종 이동치 값이 계산된다. 식 (7)은 각 조인트에서 계산된 조인트 토크 값들의 합 ${}^j\tau_{i,1} + {}^j\tau_{i,2} + \dots + {}^j\tau_{i,7}$ 를 나타낸다. 최종 로봇자세 변형을 위한 토크 값은 다음 $\Gamma = [\tau_{s,1} \ \tau_{s,2} \ \dots \ \tau_{s,7}]^T$ 과 같다.

$${}^j\tau_{i,i} = J^T {}^jF_i \tag{6}$$

$${}^j\Gamma = \sum_{i=7} (J^T {}^jF_i) = \sum_{i=7} \begin{pmatrix} \tau_{i,1} \\ \dots \\ \tau_{i,i} \end{pmatrix} \tag{7}$$

최종적으로 로봇의 이동 값이 결정되는데 이 때 조인트의 이동에 관한 속도의 값이 결정이 되어져야 한다. 이들 모바일 및 조인트의 이동 속도는 샘플링 시간과 비례하게 된다. 로봇 자세의 속도를 결정하기 위해서 다음 식 (8), (9)과 같이 샘플링 시간을 조절 할 수 있는 조인트, 모바일의 비례계수인 α_m, α_i 가 쓰이게 된다. 이 비례계수에 의하여 각 샘플링 시간 마다 제어 점에 관한 모바일 및 조인트의 회전 및 병진이동의 정도가 결정된다⁽¹¹⁾.

$$\delta\theta_i = \alpha_i \tau_{s,i} \quad , (i = 1, \dots, 7) \tag{8}$$

$$\delta x_m = f_{m,x}, \quad \delta y_m = f_{m,y}, \quad \delta\phi_m = \alpha_m \tau_m \tag{9}$$

$\delta\theta_i$ 는 i 번째 조인트의 토크 $\tau_{s,i}$ 에 의한 로봇 자세 변형을 위한 조인트의 회전량이며 δx_m 과 δy_m 는 다음 로봇 자세 이동을 위한 이동 량에 해당한다. 식 (8)과 마찬가지로 $\delta\phi_m$ 는 모바일의 z 축을 중심으로 한 회전량을 나타낸다. 이들 α_i 와 α_m 의 값이 커지게 되면 회전량이 커지게 되어 그만큼의 매

샘플링 시간 마다 빠른 회전이 가능하다.

5. 시뮬레이션

시뮬레이션을 통하여 제안된 장애물 회피 방법의 실제 적용 가능성을 검증하고, 그 성능과 특성을 관찰한다.

본 연구에서는 크게 5가지의 경우에 대하여 로봇의 모바일 부분 및 머니플레이터 부분의 충돌 회피 동작을 시뮬레이션 한다. 먼저 경우 1, 2에서는 장애물이 두개인 경우에 대하여 장애물의 속도에 따른 로봇의 충돌 회피 궤적의 변화를 관찰한다. 경우 3,4,5에서는 두 장애물 사이의 간격에 따른 로봇의 충돌 회피 궤적을 살펴며 경우 6에서는 장애물이 불규칙적으로 흩어진 경우에 관하여 로봇의 충돌 회피에 관한 궤적에 미치는 영향을 관찰한다. 그리고 모바일부분을 바탕으로 머니플레이터부의 장애물 회피를 관찰한다. 마지막으로 전체 로봇 시스템의 3D 시뮬레이션을 통한 충돌회피 궤적을 관찰한다.

5.1 시뮬레이션 조건

경우 1~5에서는 두 개의 장애물이 놓여 있을 때, 경우 6에서는 임의의 장애물이 놓여 있는 경우, 에 관한 로봇의 장애물 회피 궤적을 관찰한다. 여기서는 표 1과 같이 모든 경우

Table 1 Parameter values for the cases

	Value
Initial X position	-3000
Target X position	6000
Direction of initial robot (θ)	$\pi/6$
k_r	0.5
k_c	0.3

Table 2 Conditions for the cases

Cases	Transfer tilt of Mobile[rad]	Safe distance [mm]	Distance between two obstacles[mm]
case 1	$\pi/6$	1500	2100
case 2	$\pi/3$	1500	2100
case 3	$\pi/3$	1500	1000
case 4	$\pi/3$	800	1000
case 5	$\pi/3$	1500	100
case 6	$\pi/3$	1000	-

에 대하여 시뮬레이션 조건들은 동일하다.

5.2 시뮬레이션 결과

각각의 경우에 대한 모바일부의 시뮬레이션 결과를 Fig. 5부터 Fig. 10에 보였다. 여기에서 편의상 로봇을 점이 아닌 원으로 표시하였다.

Fig. 5, 6은 각각 경우 1, 경우 2에 대한 시뮬레이션 결과이다. 경우 1, 경우 2에서와 같이 두 경우 모두 궤적을 따라 주행하던 중에 안전거리 영역에 감지된 장애물 2에 의하여 (-1500, -1500)지점부터 척력의 작용에 의하여 서서히 궤적의 변형 및 장애물 회피하는 것을 볼 수 있다.

장애물 1과 장애물 2를 벗어난 이후 로봇에 작용하는 Elastic Force 힘이 0이 되므로 다시 이전 궤적을 따라 문제없이 목표 위치에 도달하는 모습을 보여준다.

경우 3, 경우 4에서는 두 개의 장애물의 거리가 안전 영역보다 적을 경우 장애물을 피하는 동작의 예를 보여준다.

경우 3은 Fig. 7에서와 같이 장애물 사이의 간격이 안전거리보다 적은 거리로 인해 두 장애물 사이를 지나가지 못하고 두 개의 장애물을 하나로 인식하여 우회하려고 하고 있다. 그러나 목표위치에 도달하지 못하고 목표궤적을 벗어나 있다. 이는 목표 궤적과 멀어짐으로서 입력 척력을 이기지 못하고 목표 지점을 찾지 못하고 궤적을 이탈한 상황을 보여주고 있다.

경우 4는 경우 3에서의 안전거리를 800mm로 변화시켰다. Fig. 7과는 달리 안전거리가 두 장애물 사이 폭보다 좁아진 관계로 Fig. 8과 같이 문제없이 두 장애물 사이를 지나 회피 하고 있다.

Fig. 9에서와 같이 경우 5에서도 경우 3과 같이 두 장애물 사이의 거리를 지나지 못하고 우회하려는 모습은 동일하다. 하지만 경우 3과 달리 장애물을 벗어난 이후 입력의 작용으로 장애물 회피 이후 목표점을 찾아서 목표점에 잘 도착하고 있다.

경우 6에서는 장애물이 임의의 지점에 놓여있는 경우에 대한 로봇의 반응의 시뮬레이션이다. Fig. 10에서와 같이 임

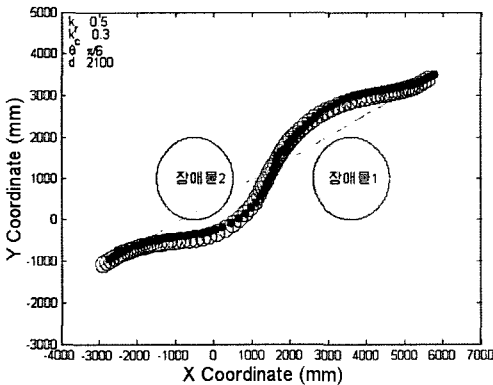


Fig. 5 Collision-free robot motion for the case 1

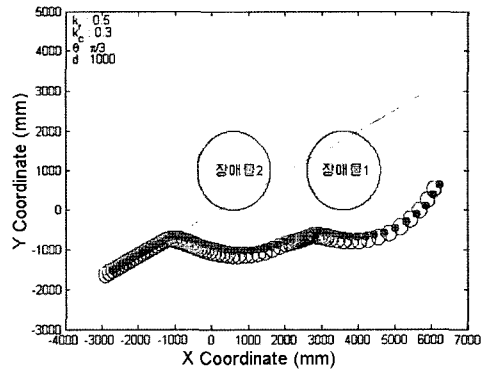


Fig. 7 Collision-free robot motion for the case 3

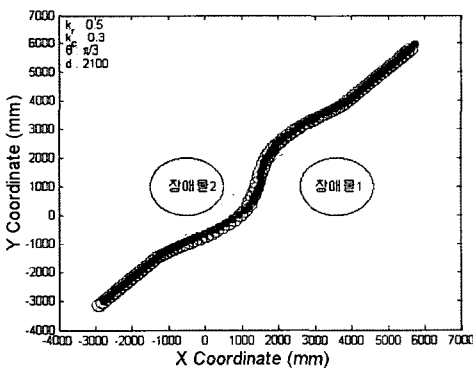


Fig. 6 Collision-free robot motion for the case 2

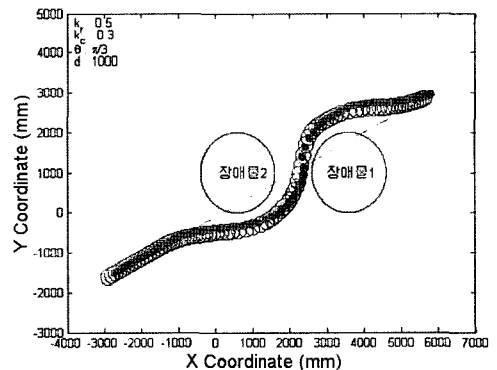


Fig. 8 Collision-free robot motion for the case 4

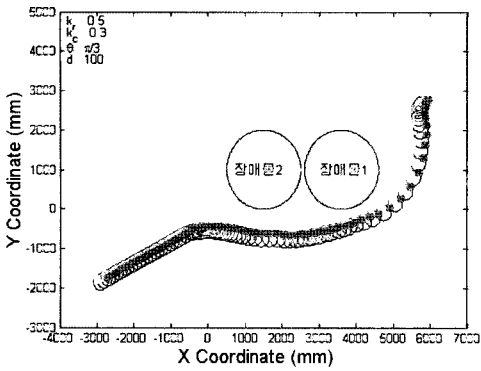


Fig. 9 Collision-free robot motion for the case 5

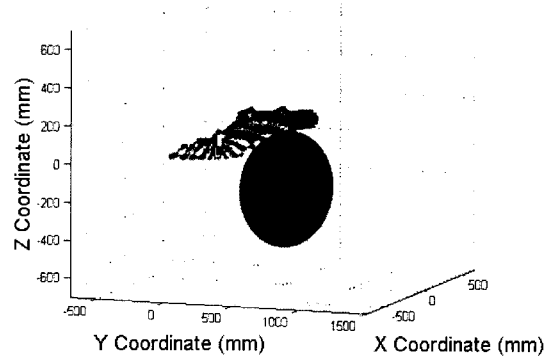


Fig. 12 Collision-free manipulator motion(3D)

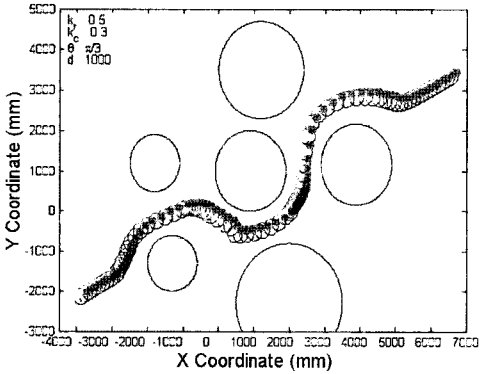


Fig. 10 Collision-free robot motion for the case 6

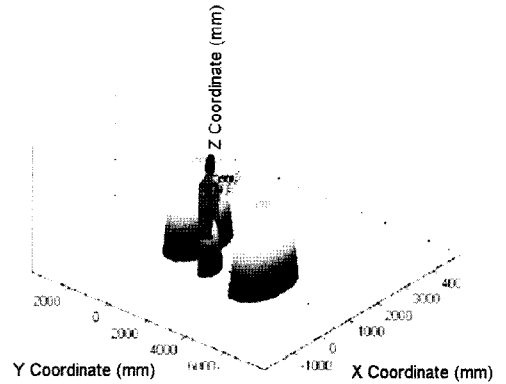


Fig. 13 Collision-free robot motion

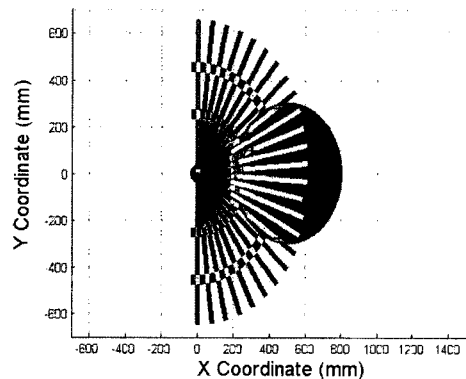


Fig. 11 Collision-free manipulator motion(2D)

의 여러 장애물에 대해서 목표지점까지 도달하고 있으며 안전거리가 적은 값으로 설정됨으로서 다소 불안하지만 문제없이 좁은 장애물 사이를 지나가는 모습을 그림을 통하여

보여주고 있다.

Fig. 11, 12는 머니플레이터의 장애물 회피 시뮬레이션을 2D와 3D로 나타낸 것이다. 그림과 같이 문제없이 장애물을 회피하고 있다.

Fig. 13은 전체 로봇 시스템에 관한 실시간 장애물 회피 시뮬레이션을 나타낸 것이다. 로봇은 다음과 같이 모바일부분 회피와 동시에 장애물과 머니플레이터의 충돌을 예상하여 머니플레이터의 자세 변형이 일어나는 모습을 보여주고 있다.

6. 결론

본 논문에서는 실버메이트 로봇을 위한 하이브리드제어 구조와 반응층에서 실시간 충돌회피 알고리즘을 제안하였다.

그리고 이를 기반으로 모바일부 및 전체시스템의 충돌회피 시뮬레이션을 통해 주어진 알고리즘이 실제 논문에 적용

된 실버메이트 로봇에 적용이 용이하다는 것을 확인하였다. 따라서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 하이브리드 제어구조는 로봇의 동작에 있어서 반응층의 모듈화로 빠르고 안정적인 실시간 회피 동작을 할 수 있다. 또한 관련 모듈을 기능별로 컴포넌트화 하여 로봇 시스템 통합을 위한 방법론을 제안하였다.
- (2) 탄성력을 이용하여 여유자유도를 갖는 지능로봇 기구학 특성에 적합한 알고리즘을 제시하였으며 적절한 안전거리와 k_r, k_c 값이 정해진다면 다양한 위치의 장애물을 문제없이 실시간 회피가 가능할 것으로 보인다.
- (3) 본 논문에서 제시한 알고리즘은 정적 장애물에 관하여 시뮬레이션을 수행하였다. 앞으로 더 나은 성능을 위하여 다변장애물 외에도 실버메이트 로봇의 동적장애물의 실시간 회피를 위한 알고리즘 연구가 더 필요하다.

후 기

본 논문은 과학기술부의 21세기 프론티어 사업인 ‘인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업’에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Ko, N. Y. and Lee, B. H., 1997, "Moving Obstacle Avoidance of a Robot Using Avoidability Measure," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 169~178.
- (2) Khatib, O., 1986, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robot," *The Int. Journal Robotics Research*, Vol. 5, No. 1.
- (3) Borenstein, J. and Koren, Y., 1991, "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robot," *IEEE Trans. Robotics Automate*, Vol. 7, No. 3, pp. 278~288.
- (4) Khatib, O., 1996, "Motion coordination and reactive

- control of autonomous multi-manipulator system," *Journal of Robotic Systems*, Vol. 15, No. 4, pp. 300~319.
- (5) Khatib, O., 1999, "Robot In Human Environments: basic Autonomous Capabilities," *The International journal of Robotics Research*, Vol. 18, No. 7, pp. 684~696.
- (6) Lindstrom, M., Oreback A. and Christensen, H. I., 2000, "BERRA: A Research Architecture for Service Robots," *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, San Francisco, CA, USA, pp. 3278~3283.
- (7) Nesnas, I., Wright, A., Bajracharya, M., Simmons, R., Estlin, T. and Kim, W. S., 2003, "CLARAty: An Architecture for Reusable Robotic Software," *SPIE Aerospace Conference*, Orlando, Florida, pp. 353~362.
- (8) Choi, K. H., Cho, S. J. and Kim, B. K., 2006, "A Study on Behavior-based Hybrid Control For elderly Assistant Robot," *The 1st Korean-Austrian Automation Day*, pp. 153~161.
- (9) Seraji, H. and Lee, T. S., 1993, "Motion Control of 7-DOF Arms: The Configuration Control Approach," *IEEE Transactions on robotics and automation*, Vol. 9, No. 9.
- (10) Xu, D., Hu, H., 2005, "Motion Planning for a Mobile Manipulator with Redundant DOFs," *Proceedings of International conference on Intelligent Computing*, Hefei, China, pp. 23~26.
- (11) Ko, N. Y., Simmons, R. G. and Seo, D., J., 2006, "Trajectory Modification Using Elastic Force for Collision Avoidance of a Mobile Manipulator," *PRICAI Workshop*, pp. 1214~1224.
- (12) Mckerrow, P. J., 1995, *Introduction to Robotics*, Gisul, Seoul, pp. 253~276.