

동적 환경에서 뉴로-퍼지를 이용한 웹 기반 자율 잠수 이동로봇 제어기 설계

최규종[†] · 신상운* · 안두성**

부경대학교 대학원, *양산대학교 메카트로닉스과, **부경대학교

Design of a Web-based Autonomous Under-water Mobile Robot Controller Using Neuro-Fuzzy in the Dynamic Environment

Gyu-Jong CHOI[†], Shang-Woon SHIN* and Doo-Sung AHN**

Graduate School Pukyong National University,

*Dept. of Mechatronics Yangsan College, **Pukyong National University

Abstract

Autonomous mobile robots based on the Web have been already used in public places such as museums. There are many kinds of problems to be solved because of the limitation of Web and the dynamically changing environment. We present a methodology for intelligent mobile robot that demonstrates a certain degree of autonomy in navigation applications. In this paper, we focus on a mobile robot navigator equipped with neuro-fuzzy controller which perceives the environment, make decisions, and take actions. The neuro-fuzzy controller equipped with collision avoidance behavior and target trace behavior enables the mobile robot to navigate in dynamic environment from the start location to goal location. Most telerobotics system workable on the Web have used standard Internet techniques such as HTTP, CGI and Scripting languages. However, for mobile robot navigations, these tools have significant limitations. In our study, C# and ASP.NET are used for both the client and the server side programs because of their interactivity and quick responsibility. Two kinds of simulations are performed to verify our proposed method. Our approach is verified through computer simulations of collision avoidance and target trace.

Key Words : Autonomous Underwater Mobile Robot(자율잠수이동로봇), Neuro-fuzzy(뉴로-퍼지), WWW(월드 와이드 웹), Dynamic environment(동적 환경), mobile robot navigation(이동로봇 주행)

서 론

삼면이 바다인 우리 나라는 해양개발이 필연적이다. 이를 위해 자율잠수이동로봇(Autonomous Under water Mobil Robot, AUMR)의 개발은 해양자원개발 및 해양공간 이용, 확보 차원에서 경제 사회적으

로 필요성이 높아지고 있다. 최근의 연구동향을 살펴 보면 WWW(World Wide Web)을 이용한 로봇 제어의 연구 범위가 점차 확대되어 가고 있다. 이러한 AUMR을 개발하기 위해서는 수상지원선 또는 육상 기지와 통신, 수중 작업위치에서의 자동항해 제어 기능 등이 필요하다. 또한 웹을 이용한 자율 이동 로

[†] Corresponding author : websignr@mail1.pknu.ac.kr

봇(Autonomous mobile robot)¹⁾은 이미 박물관²⁾ 같은 공공 장소에서 사용되어지고 있으며 또한 웹을 통하여 집에서 건강을 진단(home health care)한다든지 장애인 및 노약자를 보조(support aid)해주는 분야³⁾ 등에 활발한 연구가 진행중이다.

그러나 웹을 이용한 수중에서 자율동로봇의 제어는 여전히 걸음마 단계이다. 웹의 한계점과 동적으로 변화하는 환경으로 인해 해결해야 될 많은 문제점들이 남아 있다. 웹의 한계점 중의 하나는 사용자(client)와 원격 제어되는 수중로봇과의 정보전송에 있어서 예측할 수 없는 시간지연(time delay)이다. 더욱이 동적으로 변화하는 환경에서 웹을 통하여 제어되는 로봇은 통신이 끊어지는 경우에도 주어진 작업을 수행할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위하여 지능을 갖춘 웹 기반 이동 로봇에 관한 방법을 제시하고자 한다. 수중이동로봇은 동적인 환경에 대한 사전 지식 없이 시작위치(starting position)에서 목표위치(goal position)까지 이동할 때 예상치 못한 장애물을 만나더라도 지능적으로 반응을 할 수 있어야 하며, 관련된 정보들을 웹을 통해 전송함으로써 실시간으로 로봇을 감시하고 제어할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 환경을 인식(perception)하고, 결정(decision) 하고, 행동(action)을 취할 수 있는 뉴로 퍼지 제어기(neuro-fuzzy controller)⁴⁾를 가진 이동 로봇에 초점을 맞춘다. 이동 로봇은 거리센서(range sensor)를 통하여 국지적인 환경정보(local environment information)를 획득하고 목표 위치를 추종(target tracing)하면서 이동 경로 상에 장애물이 위치해 있다면 장애물 회피(obstacle avoidance)를 한다. 이동로봇이 주행 중에 장애물을 만났을 때 회전방향의 결정은 각 회전방향의 안정성 정도(safeness degree)와 목표위치의 방향에 따라 선택되어진다. 그리고 수중이동로봇의 주행 속도는 로봇 주위의 장애물 분포에 따라 조정되어진다.

전체 시스템

전체 시스템은 Fig. 1과 같이 수중이동로봇(under water mobile robot), 액세스 포인트(access point), 클라이언트(client)로 이루어져 있다. 이동 로봇은 웹 서버(Web server)의 역할을 수행하며 무선 랜 카드(Wireless Lan Card)가 장착되어 있어 액세스 포인트를 거쳐 외부 인터넷으로 연결된다. 따라서, 클라이언트는 IP를 통하여 수중이동로봇에 접속하여 이동로봇을 감시하고 제어할 수 있다.

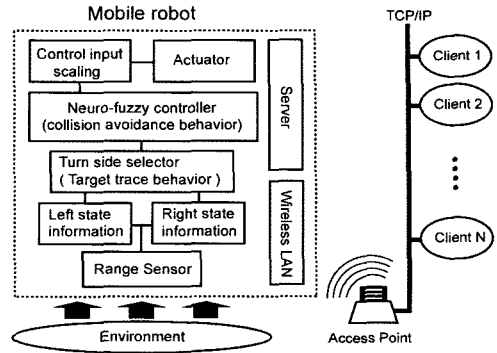


Fig. 1. Overall system.

1. 수중이동로봇 시스템

수중이동로봇은 크게 구동장치(actuator), 서버장치(server) 그리고 센서장치(sensor)로 구성되어 있다. 구동장치는 2개의 SME232AE 파크 모터(Parker motor)로 구성되고 서버는 펜티엄급으로서 윈도우 2000으로 구축하였다. 센서는 총 9개의 초음파 센서를 사용하였다. 무선 랜 카드가 장착된 수중 이동로봇은 액세스포인트를 통하여 외부로 연결된다. 그림 2는 초음파 센서들이 분포되어 있는 위치와 감지할 수 있는 범위를 보여주고 있다. 9개의 센서들($x_i: i=1, 2, \dots, 9$)은 30도의 동일한 간격으로 배치되어 있으며, 굵은 화살표는 측정방향을 나타낸다. 회색으로 표시된 부분은 이동 로봇의 충돌 방지를 위하여 장애물과 최소한으로 유지해야 될 거리를 나타낸다. 최대 측정 거리(maximum sensing range)는 하드웨어적으로 감지할 수 있는 최대 거리를 나타낸다.

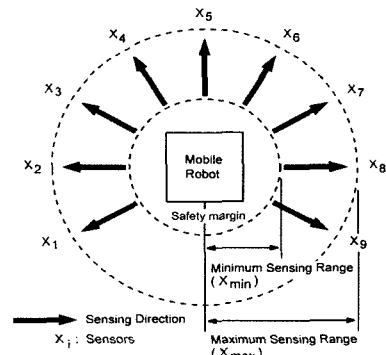


Fig. 2. Underwater mobile robot equipped with range sensors and its sensing range limits.

2. 제어 알고리즘

퍼지의 비 퍼지화(defuzzification) 과정에서 계산되어지는 출력은 수중이동로봇에 금지된 제어명령(prohibited control command)^{5),6)}을 주는 경우가 있을 수 있다. 즉, 수중이동로봇이 장애물의 정면으로 향해 접근하고 있을 때 퍼지제어기의 특성상 충돌할 수 있는 명령을 출력할 수가 있다. 이러한 경우의 제어명령은 왼쪽방향(Turn Left) 또는 오른쪽방향(Turn Right)중에 하나를 먼저 선택해야 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 Fig. 3과 같은 구조를 제시하고자 한다. 수중이동로봇이 장애물을 만났을 때 두 단계로 이루어지는 충돌회피 행동(collision avoidance behavior) 반응동작을 하게 된다. 첫 번째 단계에서 수중이동로봇은 '왼쪽 방향' 또는 '오른쪽 방향' 중에 하나를 먼저 선택한다. 선택하는 기준은 두 방향의 상태정보와 현재 수중이동로봇의 정면방향을 기준으로 하여 목표 위치의 방향정보를 이용한다. 두 번째 단계에서는 로봇의 속도(robot velocity)와 조종각(steering angle)을 계산한다. 즉, 방향 선택기(turn side selector)가 왼쪽방향을 선택했다면 수중이동로봇의 속도와 조종각을 출력하는 신경회로망의 입력으로는 왼쪽방향의 상태정보만이 사용된다. 이동 로봇은 환경에 대한 정보를 가지고 있지 않기 때문에 로봇이 빠르게 이동할 경우 예상치 못한 장애물을 만났을 때 충돌할 가능성이 높아지게 된다. 이러한 경우에 빠르게 대응하기 위해 로봇 정면 방향의 안정성(safeness)과 그 안정성의 변화율(change rate)에 관한 정보를 이용해서 신경회로망의 출력을 조정(scale)함으로써 갑작스런 장애물을 만나더라도 속도를 빠르게 감속시켜 장애물을 피할 수가 있다.

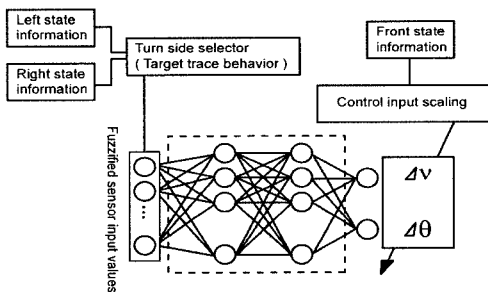


Fig. 3. Proposed architecture with neuro-fuzzy controller.

뉴로-퍼지 제어기

퍼지논리(Fuzzy logic)⁷⁾는 숙련가의 지식을 자연스럽게 표현할 수 있으며, 신경회로망은 학습 데이터(training data)를 이용하여 숙련가의 지식을 학습시킬 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서 사용되는 뉴로 퍼지제어기는 이러한 장점들을 포함하고 있으며, 충돌 회피 행동기와 목표 추종 행동기로 구성된다. 충돌회피 행동기는 초음파 센서값을 이용하여 계산되어지는 각 방향의 상태정보 값에 따라 수중이동로봇의 속도와 이동방향을 출력하는 신경회로망으로 구성되어진다. 목표 추종 행동기는 목표 위치에 도달할 수 있도록 회전 방향을 선택한다. 신경회로망의 입력으로 사용되는 상태정보를 계산하기 위해 Fig. 4와 같은 시그모이드 함수 S 와 D 를 사용하였으며, 각각 안전성소속함수(safeness membership function)와 위험성소속함수(danger membership function)를 나타낸다. 각 방향의 상태정보는 정면방향의 센서값을 제외한 각 방향별로 4개의 센서값을 사용하며, 센서값은 로봇 정면방향에 가까운 순서에 따라 높은 가중치를 적용한다. 안전성소속함수는 양의 가중치를 적용하고 위험성소속함수는 음의 가중치를 적용하였으며, 가중치가 적용된 센서값들(S_{left} , S_{right})은 방향선택기에서 비교되어 높은 값을 가지는 방향을 회전방향으로 선택한다.

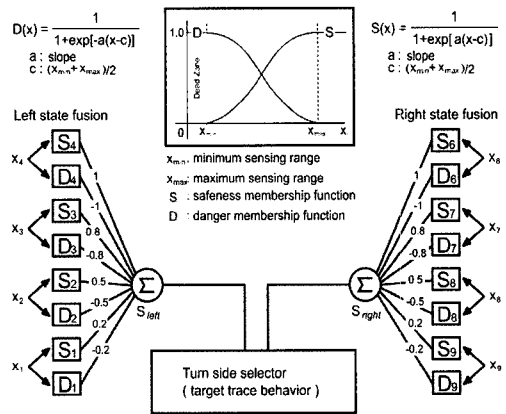


Fig. 4. Both side state information and sigmoidal membership function.

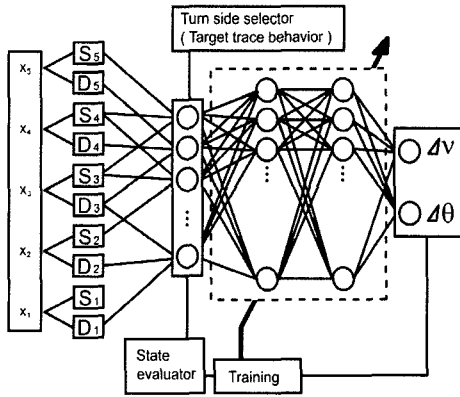


Fig. 5. Left side neural network and training method.

1. 충돌회피 행동기

지능이동로봇(intelligent mobile robot)⁸⁾은 동적 환경에서 장애물을 회피하면서 목표위치에 도달할 수 있는 능력을 가져야 한다. 장애물 회피를 위해 각 센서측정방향에서 로봇과 장애물과의 거리에 대한 정보가 필요하다. 그러나 로봇 주위의 환경을 인식하기 위하여 각 센서방향에 대한 값만을 이용한다면 센서들 사이의 정보는 잃게 될 것이다. 이것은 때때로 장애물에 충돌하는 것과 같은 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 만약 이동로봇이 비전 시스템을 갖추고 있다면 초음파센서에 비해 보다 많은 환경정보를 얻을 수 있지만 비전의 사용은 영상 정보에 대한 빠른 처리시간과 실시간 처리를 위한 알고리즘 개발이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 비전 시스템 대신에 소실된 정보를 보간하기 위해 이웃한 센서의 값에 가중치를 적용한 후 서로 융합(fusion)⁹⁾하여 사용한다. 융합된 센서값들은 각 방향에서의 안정도(safeness degree)를 나타내고 현재 위치에서 로봇의 이동방향을 선택하기 위해 신경회로망의 입력으로 사용된다. 그림 5에서와 같이 신경회로망은 양방향의 형태가 동일하기 때문에 한쪽 방향에 대해서 구성한다. 신경회로망의 출력은 수중이동로봇의 이동 방향의 변화율($\Delta\theta$)과 속도 변화율(ΔV)이다. 그리고 이동로봇은 환경정보를 가지고 있지 않아 최적 경로를 알 수가 없으므로 적절한 학습데이터를 얻을 수가 없다. 따라서 본 논문에서는 센서값들과 시그모이드 함수를 사용하여 각 방향에서의 상태를 결정하

는 상태 평가기(state evaluator)에 의해서 계산되어진 국지적 상태 평가값(local state evaluation value)을 이용해서 학습을 시킨다. 그리고 학습은 오차역전파법(error back propagation)¹⁰⁾을 이용하여 가장 높은 평가값을 가지는 방향을 학습데이터로 사용한다.

2. 목표추종 행동기

목표위치를 추종하면서 장애물을 회피하는 목표추종 알고리즘을 Fig. 6에서 보여주고 있다. 먼저 Sleft와 Sright를 비교하여 회전할 방향을 선택하게 된다. 여기서, Slimt는 수중이동로봇이 장애물과 충돌하지 않고 움직일 수 있는 최소한의 안정성 정도를 나타낸다. 이 값은 시황착오를 거쳐 결정한다. Slimt값보다 작은 상태정보는 이동로봇 주위에 장애물들이 상대적으로 많이 분포되어 있어서 로봇이 통과하기 힘든 상황을 나타낸다. Sleft와 Sright가 Slimt보다 더 클 경우에는 목표추종 행동기(target trace behavior)에 의해서 목표위치에 가까운 방향이 선택되어지고 그렇지 않다면 장애물과 충돌을 피할 수 있는 방향을 선택한다. 장애물 회피 시 이동로봇은 빠르게 회전을 하면서 이동속도를 줄여야 하는데, 이러한 문제는 이동로봇의 정면방향의 상태정보와 상태정보 변화율을 이용하여 신경회로망에서 출력되는 속도값을 조절하여 해결할 수 있다.

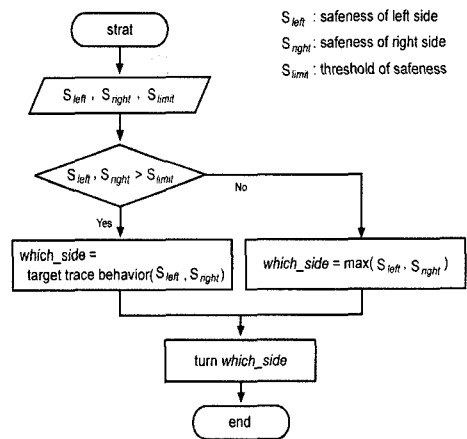


Fig. 6. Flow chart of target tracing algorithm.

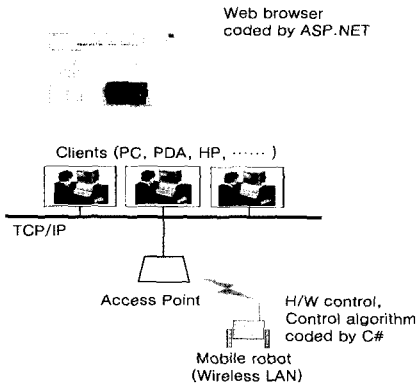


Fig. 7. Architecture based on world Wide Web.

월드 와이드 웹

웹을 통해 작업할 수 있는 대부분의 원격조정 로봇 시스템은 HTTP, CGI, 스크립트 언어와 같은 표준 인터넷 기술^{11),12)}을 이용하여 설계되어져 왔다. 그러나 수중이동로봇 주행문제에서 이러한 언어는 중요한 한계점을 가진다. 즉, HTTP 프로토콜은 그 영향력을 점점 잃어가고 있으며, CGI는 프로그램이 불러질 때만 네트워크 연결이 이루어지며 생성된 HTML은 정적이다. 그리고 클라이언트와의 상호작용을 제공하지 않는다. 구조화된 환경에서 로봇을 운영하는 경우에는 이러한 한계는 중요하지 않겠지만 이동로봇은 예상치 못한 장애물들을 다룰 경우 빠른 응답성과 상호작용이 아주 중요하다. 그리고 플랫폼에 의존한 소프트웨어는 일부 사용자에게 이식성과 접근성에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서 Fig. 7과 같이 C#과 ASP.NET을 이용하여 웹 페이지를 구성하였다. 이러한 언어는 운영체제에 독립적으로 사용될 수 있고 이식성이 높으며 직접적이고 지속적인 TCP/IP 연결이 가능하기 때문에 HTTP 프로토콜의 한계점을 극복할 수 있다. 또한 C#을 기반으로 한 ASP.NET은 CGI로 생성된 HTML에 비해 사용자와 서버간의 상호작용능력이 뛰어나다. 본 논문에서 웹 기반 수중이동로봇은 C#을 바탕으로 ASP.NET을 사용하여 프로그래밍 한다. C#을 통해 하드웨어 부분을 제어하고 ASP.NET을 사용하여 웹페이지를 제작함으로써 클라이언트가 웹

브라우저를 통해 서버에 접속할 때마다 수중이동로봇을 제어 감시할 수 있는 GUI창을 볼 수 있다.

시뮬레이션

뉴로-퍼지 제어를 가지고 수중이동로봇으로 몇 가지 시뮬레이션을 수행하였다. C#으로 시뮬레이션 환경을 구성하였으며, 이동로봇은 장애물을 감지하는 9개의 초음파센서($x_i; i=1, 2, \dots, 9$)를 가지고 있다. 환경의 크기는 600×400 화소(pixels)이며, 이동로봇의 크기는 30×30 화소이다. 시작위치와 목표위치는 각각 (50, 50), (550, 350)이다. 센서의 최대 측정거리(x_{max})와 최소 측정거리(x_{min})는 80화소와 20화소이다. 또한 조종각과 이동 로봇의 최대 속도는 30도와 5pixels/step로 각각 제한한다.

먼저, 뉴로 퍼지 제어기는 상태 평가기에서 획득된 값 중에서 가장 높은 평가값을 가지는 방향을 목표 출력 값으로 설정하고 오차 역전파법을 이용하여 실시간으로 학습을 시킨다. 시뮬레이션에서 이동로봇은 현재 위치와 도착해야 될 목표위치만을 알고 있다고 가정한다. 즉 로봇은 목표위치로 가기 위해서 현재 위치에서 어느 방향으로 향해해야 될 지를 알고 있는 것이다. 본 논문에서 두 가지의 시뮬레이션을 수행하였다. 첫 번째 시뮬레이션에서는 환경 내에 있는 모든 장애물은 그림 8과 같이 정적인 상태로 있고, 두 번째 시뮬레이션에서는 환경 내의 장애물 중 하나가 그림 10에서와 같이 동적인 상태이다. 시뮬레이션에서 연속적인 작은 사각형은 매 샘플링 시간마다의 수중이동로봇의 궤적을 나타낸다. 따라서 사각형 사이의 간격이 넓은 것은 이동로봇이 빠르게 움직이고 있는 것을 나타내며, 좁은 것은 천천히 움직이고 있음을 나타낸다.

그림 8과 9를 보면 A와 C지역에서 수중이동로봇의 속도는 장애물과 충돌하지 않기 위해 정밀하게 움직이기 위해서 감속을 하고 있으며, 점차적으로 목표위치에 도달하고 있음을 볼 수 있다. B지역에서는 상대적으로 장애물이 적게 분포되어 있기 때문에 수중이동로봇의 속도를 빠르게 가속하고 있음을 알 수 있다. 그림 10과 11은 동적인 환경에서의 시뮬레이션 한 결과이다. A지역에서 수중이동로봇은 주위의 장애물로 인해 천천히 그리고 정밀하게 움직이며, A 지역을 통과한 후 이동 장애물은 2pixels/step속도로 위로 움직이기 시작한다. B지역에서는 수중이동

로봇은 이동 장애물을 만나게 되며 그때, 빠르게 속도를 감속시키고 정면의 상태정보와 상태정보 변화율을 바탕으로 하여 진행방향을 변화시킨다.

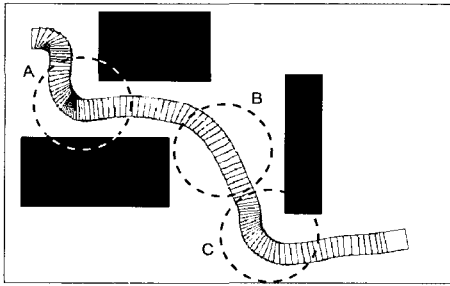


Fig. 8. Simulation result with unknown static obstacles.

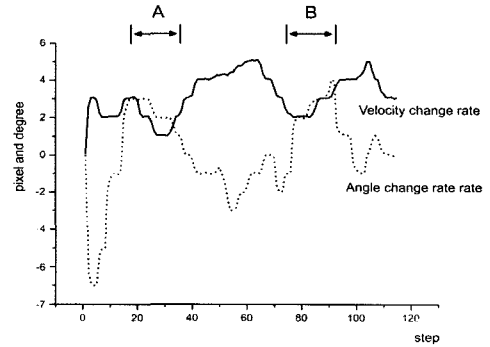


Fig. 11. Velocity change and angle change with unpredictable obstacles.

결론

본 논문에서는 수중이동로봇이 웹으로 제어되는 자율잠수이동로봇(Autonomous Underwater Mobil Robot, AUMR) 문제에 대한 방법을 제시하였다. 이러한 시스템의 목적은 인터넷에 접속한 클라이언트가 수중이동로봇을 시작위치에서 목표위치 까지 주행시키기 위한 것이다. 본 시스템을 설계 시 고려한 사항 중 가장 중요한 것은 다음과 같다. 첫째 수중이동로봇은 정보전송에 있어서 시간지연이 발생하더라도 동적인 수중환경에서 스스로 주행이 가능하도록 지능을 가져야 하며, 둘째 운용체제와 하드웨어 플랫폼에 상관없이 수행 가능해야 한다는 것이다. 전자는 수중이동로봇을 충돌회피 행동기와 목표추종 행동기로 설계하였다. 이러한 행동기들을 이용하여 환경에 대한 사전 정보 없이 시작위치에서 목표위치까지 충돌하지 않는 경로를 계획하고 예기치 못한 수중 장애물에 대해서 지능적으로 응답할 수가 있다. 후자는 서버를 탑재한 수중이동로봇에 클라이언트가 IP를 통해 연결할 수 있도록 구성하였다. 웹페이지는 서버 사이드 스크립트 언어인 ASP.NET으로 프로그램 하여 클라이언트가 웹 브라우저를 통해서 이동로봇에 접근할 때마다 이동로봇을 제어하고 감시할 수 있는 GUI 창을 볼 수가 있다. 이러한 GUI창을 통해서 클라이언트는 수중이동로봇을 제어 및 감시할 수 있다. 본 논문에서 제시한 방법은 충돌회피와 목표위치 추종하는 시뮬레이션을 통해 수중이동로봇이 웹으로 제어되어 자율잠수이동로봇(Autonomous Underwater Mobil Robot, AUMR)을 검증하였다.

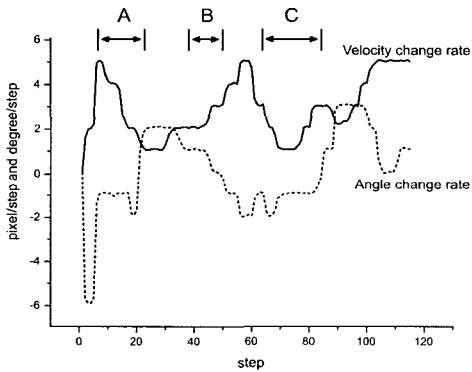


Fig. 9. Velocity change and angle change with unknown static obstacles.

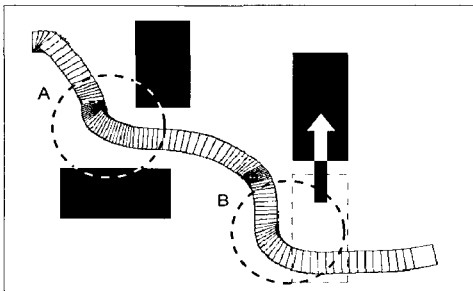


Fig. 10. Simulation result with unpredictable obstacles.

참고문헌

- 1) Michael, B., Tom A., Thorstem, B., Armin, B. C., Dirk, S., Maren, B., Wolfram, B., Dirk, H., Dieter, F. and Henrik, G.(2001) : Integrated, Plan-Based Control of Autonomous Robots in Human Environments, IEEE Intelligent systems, 56 ~ 65.
- 2) Shoichi, Shin'ichi Y., Hiroya, I. and Akira, H.(1999) : Effect of Map Indication on Remote Control of a Mobile Robot, Robot and Human Interaction, RO-MAN '99. 8th IEEE International Workshop on, 98~103.
- 3) Chuen, C. L.(2002) : The Web: a communication medium for health care, IEEE Intelligent Systems [see also IEEE Expert], 17(2), 88~89.
- 4) Jang, J. S. R.(1993) : ANFIS: Adaptive -Network-Based Fuzzy Inference System, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 23(3), 665~685.
- 5) John, Y. and Nathan, P.(1991) : Designing an Adaptive Path Execution System, Systems, Man, and Cybernetics, 1991. 'Decision Aid-ing for Complex Systems, Conference Proceedings.', 1459~1464.
- 6) Nathan, P., John, Y. and Reza, L.(1992) : A Defuzzification Strategy for a Fuzzy Logic Controller Employing Prohibitive Information in Command Formulation, Fuzzy Systems IEEE International Conference on, 717~723.
- 7) Chuen, C. L.(1990) : Fuzzy Logic in Control Systems, Fuzzy Logic Controller - Part 1, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 20(2), 404~418.
- 8) Toshio, F. and Naoyuki, K.(1999) : An Intelligent Robotic System Based on a Fuzzy Approach, Proceedings of the IEEE, 87(9), 1448~1470.
- 9) Ajay, M., Kaihong, W. and Probir, K. R.(2001) : Multisensor Integration and Fusion Model that Uses a Fuzzy Inference System, Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, 6(2) 188~196.
- 10) Robert, J. S. : Artificial Neural Networks: Chapter 6, 146~188.
- 11) Sekmen, A. S., Bingul, Z., Hombal, V. and Zein-Sabatto, S.(2000) : HUMAN-ROBOT INTERACTION OVER THE INTERNET, Southeastcon 2000. Proceedings of the IEEE, 223~228.
- 12) Sebastien, G., Terrence, F. and Charlse, B.(2000) : Effective Vehicle Teleoperation on the World Wide Web, Robotics and Automation, 2000, Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference on, 2, 2007~2012.
- 13) <http://210.119.9.234/WebRobot/intro.aspx>.

2003년 1월 4일 접수

2003년 2월 14일 수리