

## 새로운 퍼지 명령 스무딩 개념을 이용한 저가형 비자율주행 이동로봇의 원격제어

### Tele-operation of A Low-cost Un-autonomous Mobile Robot Using A New Fuzzy Command Smoothing Concept

유 봉 수, 조 중 선\*

(Bong-Soo Yoo and Joongseon Joh)

**Abstract** : Researches on mobile robots have been mainly focused on the autonomous navigation and a lot of interesting results have been published so far. Most of applications are, however, fancy, unpractical, and very expensive to be used for "UN-expensive" purpose. Well-known soccer robot may be an example of unpractical application. Un-autonomous mobile robot has, however, potential for a lot of practical applications. Especially, tele-operation of the un-autonomous mobile robot may be the central issue of research.

Major research topics for the tele-operated un-autonomous mobile robot include development of a force reflecting joystick for tele-operation and development of a sophisticated algorithm for smooth tele-operation. A new concept named fuzzy command smoothing algorithm is proposed in this paper in order to provide smooth motion to a tele-operated mobile robot. It gives smooth motion command to the mobile robot from possibly abrupt quick turn motion command of the joystick using fuzzy logic. Simulation results verify the usefulness of the proposed algorithm.

**Keywords** : mobile robot, remote control, force reflecting joystick, fuzzy command smoothing

#### I. 서론

기존의 이동로봇 시스템은 완전한 자율주행이 주된 목표였다. 자율주행 이동로봇이란 외부의 지속적인 물리적 명령 전달 체계인 인간의 조작 없이도 주어진 명령에 대해 자율적으로 임무를 수행할 수 있는 로봇을 말한다. 이동로봇이 완벽한 성능을 가지기 위하여 이동로봇의 자체 성능이 점차 고도화되는 방향으로 연구가 진행되었고, 제작비 또한 상승하게 되었다. 이에 반해 구동만이 목적인 저렴한 비자율주행 이동로봇(UMR, Un-autonomous Mobile Robot) 시스템을 조작자가 원격제어 하는 것 또한 중요한 연구 분야 중 하나이다. 일반적으로 조이스틱에 의한 이동로봇의 원격제어에는 카메라에 의한 영상정보와 초음파 센서에 의한 거리정보를 주로 사용하게 된다. 이때 단일 카메라에 의한 영상정보는 3차원의 입체적인 정보를 제공하는 데에는 부적절하다. 그러므로 이러한 영상정보와 더불어 초음파 센서에 의한 거리정보가 매우 유용하게 사용된다[1-3]. 그러나 자율주행 이동로봇과는 달리 UMR에서의 초음파 센서는 그 자체만으로는 의미가 없다. 조이스틱과 초음파 센서의 거리정보를 이용하여 힘 반향 조이스틱을 구현함으로써 UMR의 원격 제어를

도울 수 있다. 따라서 지능이 없는 UMR을 인간의 지능과 힘 반향 조이스틱을 조합하여 수동적으로 원격 제어함으로써 원하는 임무를 수행할 수 있다[4-6]. 그러나 UMR의 주행 원활성을 고려하지 않은 조작자의 원격제어는 부드러운 주행을 기대할 수 없게 된다. 즉 UMR은 급격한 방향전환(Abrupt Motion)을 하게 되므로 UMR과 같이 부드러운 구동이 요구되는 시스템에는 치명적인 영향을 미치게 된다.

따라서 본 논문에서는 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘과 퍼지 Command smoothing 알고리즘을 UMR의 원격제어에 적용함으로써 이러한 문제를 해결하였다. 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘은 UMR에 부착된 초음파 센서로부터 얻어진 거리 정보를 가상 힘 영역(VFF, Virtual Force Filed) 기법에 적용하는 것이다. 이 알고리즘은 장애물과의 거리에 따라 조작자의 조이스틱에 힘을 반향 시켜 조작자가 장애물에 대한 접근도를 인식할 수 있도록 한다. 퍼지 Command smoothing 알고리즘은 본 논문에서 처음으로 적용하는 알고리즘으로 조작자의 급격한 제어명령을 처리하여 UMR이 부드럽게 주행할 수 있게 한다. 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘과 주행 원활성을 실현시켜 주는 퍼지 Command smoothing 알고리즘은 하나의 식으로 표현하기 곤란하므로 전문가 시스템의 구현이 매우 필요한 분야이다. 따라서 퍼지 논리를 사용하여 생성한 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘과 퍼지 Command smoothing 알고리즘을 UMR의 원격제어에 적용함으로써 조작자가 UMR을 안전하게 주행할 수 있도록 하였다. 또한 HILS(Hardware In the Loop Simulation) 시스템을 구현하여 이를 검증하였다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 6. 6., 채택확정 : 2004. 7. 18.

유봉수, 조중선 : 창원대학교 제어계측공학과

(bsyoo@cosmos.changwon.ac.kr/jsjoh@sarim.changwon.ac.kr)

※ 본 연구는 2003년도 창원대학교 연구비와 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술센터의 지원에 의한 것임.

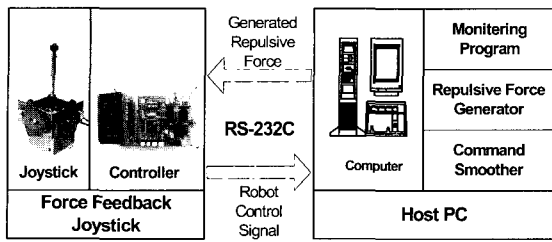


그림 1. HILS 시스템의 전체구성도.  
Fig. 1. Overall HILS system architecture.

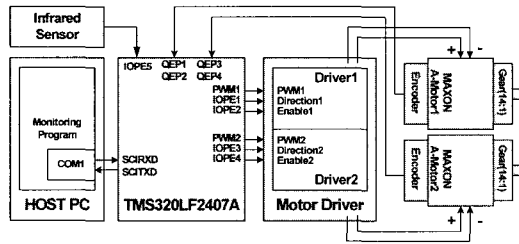


그림 2. 힘 반향 조이스틱 제어기 하드웨어 구조.  
Fig. 2. Force feedback joystick controller hardware architecture.

II. HILS 시스템 구성도 및 개념

그림 1은 HILS(Hardware In the Loop Simulation) 시스템의 구성도이다. HILS 시스템은 주 컴퓨터와 힘 반향 조이스틱으로 구성된다. 두 시스템간의 데이터는 RS-232C 직렬통신을 통하여 송수신 한다. 주 컴퓨터(Host PC)는 직렬통신 외에 모니터링 프로그램을 포함한다. UMR은 주 컴퓨터(Host PC) 상의 모니터링 프로그램에 가상로봇을 만들어 표현하였다. 모니터링 프로그램의 역할은 반향 힘 생성, Command smoothing, 그리고 UMR과 조이스틱에 대한 각종정보를 표시한다.

UMR은 Host PC에서 계산된 로봇 제어 신호를 전송 받고 초음파 센서에 의해 측정된 거리정보를 Host PC로 전송한다. 이때 주 컴퓨터의 모니터링 프로그램에서는 UMR로부터 전송된 장애물과의 거리정보를 이용하여 반향 힘을 생성시키고, 생성된 반향 힘을 조이스틱으로 전송한다. 힘 반향 조이스틱은 반향 힘과 조작자의 명령의 조합에 의해 로봇 제어 신호를 생성시키고 이것을 UMR에게 전송한다.

힘 반향 조이스틱의 제어기는 그림 2와 같이 TMS320LF2407A DSP, 모터 드라이버, 직류 서보 모터, 적외선 센서로 구성된다. TMS320C2407A DSP는 엔코더 카운터 및 펄스폭별로(PWM) 회로를 내장하고 있어서 모터 제어에 적합하다. DC 서보 모터는 MAXON 사의 A-MAX Motor를 사용하였다.

III. 힘 반향 조이스틱과 제안된 알고리즘을 이용한 UMR의 원격제어

1. 전체 알고리즘 구성

UMR을 원격제어하기 위한 전체 알고리즘 구성도는 그림 3과 같다. 조작자의 명령과 반향 힘 생성 알고리즘에 의해 생성된 반향 힘의 조합에 의하여 힘 반향 조이스

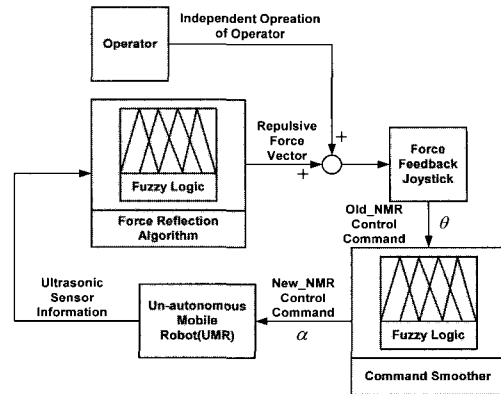


그림 3. UMR의 원격제어의 개념.  
Fig. 3. Concept of the remote control of UMR.

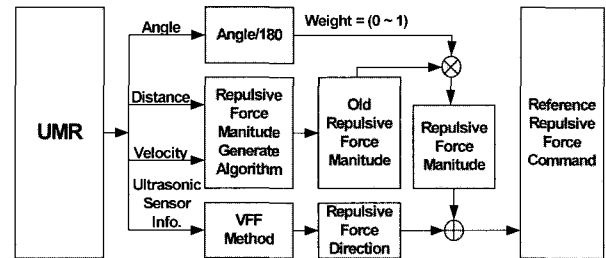


그림 4. 반향 힘 생성 알고리즘 구조.  
Fig. 4. Reflection force generating algorithm architecture.

틱은 로봇 제어 명령 ( $\theta$ )을 생성시킨다. 이 신호는 Command smoother를 거쳐 UMR의 부드러운 경로를 생성하기 위한 새로운 로봇 제어 명령 ( $\alpha$ )를 생성한 뒤 UMR에 전송된다. 이때 UMR은 로봇 제어 명령 ( $\alpha$ )에 따라 임무를 수행한다. 동시에 초음파 센서에 의해 측정된 장애물과의 거리정보를 Host PC의 모니터링 프로그램으로 전송한다. 모니터링 프로그램에서는 반향 힘 생성 알고리즘을 이용하여 다시 반향 힘을 생성시키고 이것을 조이스틱으로 인가하게 된다.

2. 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘

Host PC는 장애물과의 거리정보와 UMR의 속도정보를 이용한 퍼지 로직으로 반향 힘의 크기를 결정한다. 또한 VFF(Virtual Force Field) 기법에 의해 결정된 반향 힘의 방향성분과 결합하여 반향 힘 벡터를 생성하고 조이스틱으로 전송한다. 그림 4는 반향 힘 생성 알고리즘의 전체 구성도를 나타낸다.

장애물과의 거리정보와 속도정보만으로 구한 반향 힘의 크기 정보는 모든 UMR의 주변상황에 대한 정보를 반영하였다고 볼 수 없다. 따라서 이때의 정보에 가중치를 곱하여 새로운 반향 힘의 크기를 생성한다. 가중치는 UMR과 장애물과의 각도정보를 180°로 나눈 값으로 0 ~ 1 사이의 값이다. 각도정보의 최대값은 180°이다.

2.1 퍼지 반향 힘 크기 생성 알고리즘

제안된 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘은 다음과 같다. UMR에 장착된 초음파 센서에 의해 장애물이 감지될 경우,

표 1. “ $F_r$ ”을 결정하기 위한 퍼지규칙.

Table 1. Fuzzy rules determining “ $F_r$ ”.

Velocity \ Distance	VS	S	M	F	VF
VF	VS	VS	S	S	M
F	VS	S	M	M	B
M	S	M	M	B	B
N	M	M	B	B	VB
VN	M	B	B	VB	VB

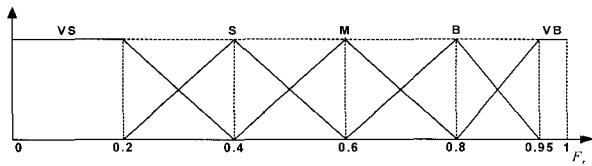
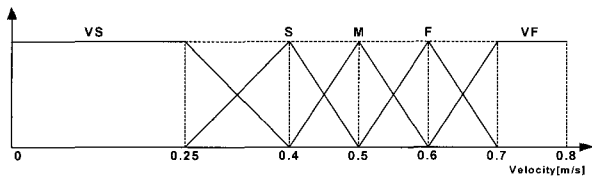
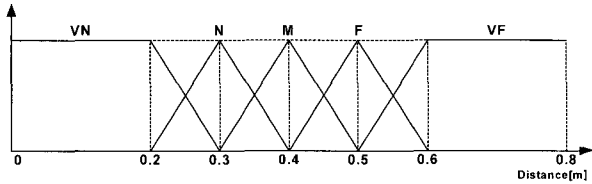


그림 5. 퍼지 반향 힘 크기 생성 알고리즘의 소속함수.  
Fig. 5. Membership function of fuzzy reflection force magnitude generation algorithm.

감지된 센서 중 최단 거리를 측정된 센서의 거리 ‘ $d$ ’와 거리가 측정될 당시의 UMR의 속도 ‘ $v$ ’가 입력변수로 사용된다. 그리고 출력변수는 반향 힘의 크기인 ‘ $F_r$ ’이다. 따라서 아래와 같은 퍼지 생성 규칙을 갖는다.

Rule  $i$ : If  $d$  is  $A_i$  and  $v$  is  $B_i$   
Then  $F_r$  is  $C_i$   $i = 1, \dots, n$

위 식에 의해 퍼지규칙은 표 1과 같이 표현된다.

언어 변수인 ‘ $d$ ’, ‘ $v$ ’, 그리고 ‘ $F_r$ ’의 언어 항은 각각 {VN, N, M, F, VF}, {VS, S, M, F, VF}, {VS, S, M, B, VB}이다. 입력변수와 출력변수의 소속함수는 그림 5(a), 5(b), 5(c)와 같다.

UMR에서 감지된 장애물과의 거리가 ‘VN(Very Near)’ 이고 UMR의 속도가 ‘S(Slow)’라면, 현재 UMR이 느리지만 장애물과의 거리가 가깝기 때문에 반향 힘은 ‘B(Big)’으로 강하게 나타난다.

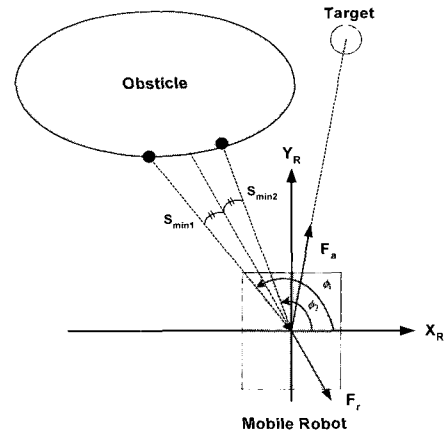


그림 6. 반향 힘의 방향 생성 알고리즘.  
Fig. 6. Direction generation algorithm of reflection force.

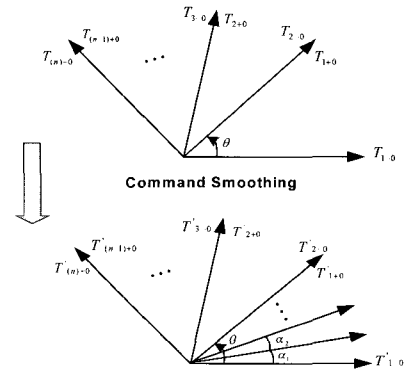


그림 7. Command smoothing의 개념.  
Fig. 7. Conceptual description of Command smoothing.

2.2 반향 힘 방향 생성 알고리즘

장애물이 감지되었을 경우 최소의 거리를 감지한 두 개의 센서를 이용하여 반향 힘 벡터의 방향을 결정하였다.

그림 6과 같이 장애물을 감지한 센서 중 최소 거리를 감지한 두 개의 센서가  $S_{min1}$ ,  $S_{min2}$  일 때 UMR의 좌표 ( $X_R, Y_R$ )에서 두 센서 까지의 각을 각각  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  라고 한다. 이때 반향 힘의 방향을 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$F_{r\_Orientation} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} + \pi \tag{1}$$

3. 퍼지 Command smoothing 알고리즘

UMR의 주행 원활성을 고려하지 않은 조작자의 원격제어는 부드러운 주행을 기대할 수 없게 된다. 만약 UMR의 속도 및 주변 환경을 고려하지 않고 조작자의 제어 명령이 그대로 UMR에 전달된다면 매우 위험한 상황이 발생할 수도 있다.

따라서 본 논문에서는 UMR의 주행 원활성을 실현시키기 위하여 그림 7과 같은 Command smoothing 알고리즘을 구현하였다.

조작자가 힘 반향 조이스틱을 이용하여 UMR에

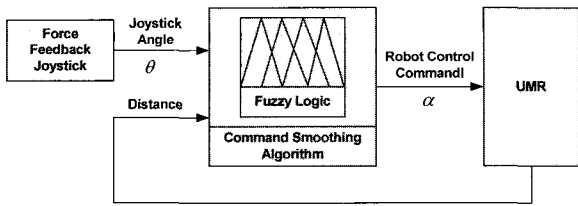


그림 8. Command smoothing 알고리즘 구조.  
Fig. 8. Command smoothing algorithm structure.

표 1. “α”를 결정하기 위한 퍼지규칙.

Table 1. Fuzzy rules determining “α”.

Angle \ Distance	VS	S	M	B	VB
VF	VS	VS	VS	S	M
F	VS	VS	S	M	M
M	VS	S	S	M	B
N	S	S	M	B	VB
VN	S	M	B	VB	VB

$T_i(T_{i-0} \sim T_{i+0})$  시간 동안에  $\theta$  만큼의 로봇 제어 명령을 인가했을 때,  $\theta$  값이 아주 작은 값일 경우 UMR의 주행에 영향을 미치지 않는다. 그렇지 않을 경우 UMR의 주행 원할성을 기대 할 수 없다. 따라서 UMR의 주변상황을 고려하여  $T'_i(T'_{i-0} \sim T'_{i+0})$  시간 동안에 필터링 된 새로운 로봇 제어 명령( $\alpha$ )을 인가하게 된다.

이때  $\alpha$ 의 크기는 그림 8과 같이 퍼지 Command smoothing 알고리즘에 의해 결정된다.

제안된 퍼지 Command smoothing 알고리즘은 다음과 같다. UMR에 장착된 초음파 센서에 감지된 장애물의 최단거리 ‘d’와 거리가 측정될 당시의 샘플링 시간 동안의 로봇 제어 명령(조이스틱 각도의 변화량) ‘ $\theta$ ’가 입력변수로 사용된다. 그리고 출력변수는 새로운 로봇 제어 명령인 ‘ $\alpha$ ’이다. 따라서 아래와 같은 퍼지 생성 규칙을 갖는다.

Rule  $i$ : If  $d$  is  $D_i$  and  $\theta$  is  $E_i$   
Then  $\alpha$  is  $F_i \quad i=1, \dots, n$

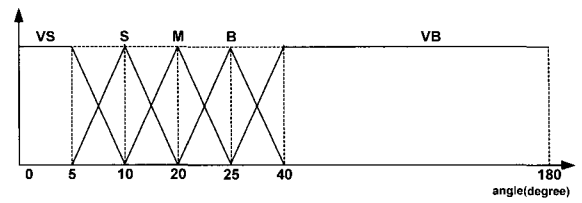
위 식에 의해 퍼지규칙은 표 2와 같이 표현된다.

언어 변수인 ‘d’, ‘ $\theta$ ’, 그리고 ‘ $\alpha$ ’의 언어 항은 각각 {VN, N, M, F, VF}, {VS, S, M, B, VB}, {VS, S, M, B, VB}이다. 입력변수와 출력변수의 소속함수는 그림 9(a), 9(b), 9(c)와 같다.

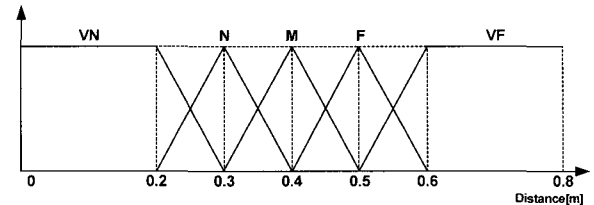
UMR에서 감지된 장애물과의 거리가 ‘N(Near)’ 이고 조이스틱 각도 변화량이 ‘S(Small)’라면, 현재 장애물과의 거리가 가깝지만 조이스틱의 각도가 작기 때문에  $\alpha$ 는 ‘S(Small)’로 나타난다.

V. 시뮬레이션

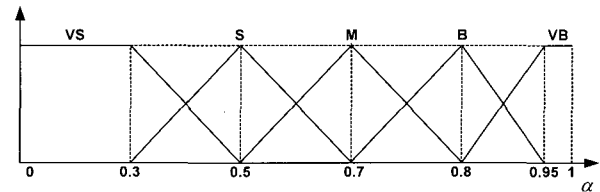
1. 시스템 모델



(a) 언어변수 “Angle”의 소속함수



(b) 언어변수 “Distance”의 소속함수



(c) 언어변수 “α”의 소속함수

그림 9. 퍼지 Command smoothing 알고리즘 소속함수.

Fig. 9. Membership function of fuzzy command smoothing algorithm.

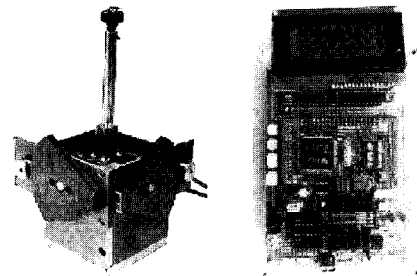


그림 10. 힘 반향 조이스틱과 제어기.

Fig. 10. Force feedback joystick and controller.

실험에 사용된 힘 반향 조이스틱과 제어기는 그림 10과 같다. 힘 반향 조이스틱은 자체 제작되었으며, 위치 및 속도 제어를 위하여 2개의 직류 서보 모터가 사용되었다. 제어기는 TI사의 모터 제어 전용 DSP인 TMS320LF2407A를 사용하였다. 샘플링 시간은 50[ms]이고, 이동로봇의 최대 속도는 0.4[m/s]이다. 거리측정을 위한 초음파 센서는 UMR의 진행 방향에 30 각격으로 배치되었으며, 측정거리는 10 ~ 80[cm]로 설정하였다.

Host PC의 모니터링 프로그램은 그림 11과 같다.

모니터링 프로그램은 크게 UMR 궤적 표시부, 조이스틱 상태 표시부, 통신부, 각종 정보를 표시하는 오실로스코프부로 나누어진다.

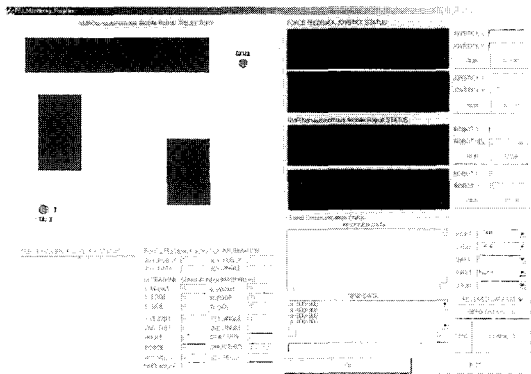


그림 11. 모니터링 프로그램.  
Fig. 11. Monitoring program.

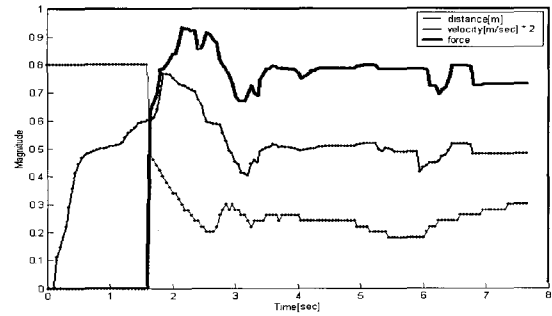


그림 14. 장애물과의 거리와 UMR의 속도와 생성된 반향 힘의 관계.  
Fig. 14. Relation of between obstacle distance and UMR velocity and generated reflection force.

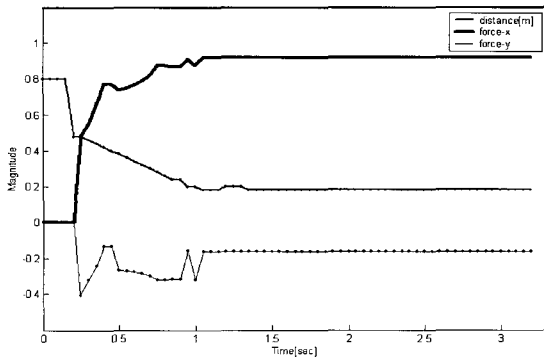


그림 12. UMR의 왼쪽 측면에 장애물이 있을 경우의 조이스틱 X, Y 축의 반향 힘.  
Fig. 12. Reflection force of joystick X, Y axis, case of exist obstacle at left side of UMR.

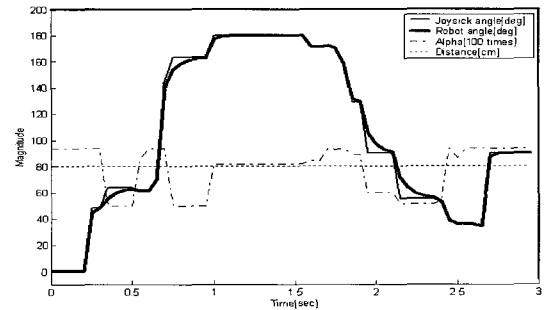


그림 15. 장애물이 감지되지 않았을 경우 UMR의 속도와 생성된 반향 힘의 관계.  
Fig. 15. Relation of between UMR velocity and generated reflection force, case of obstacle not detect.

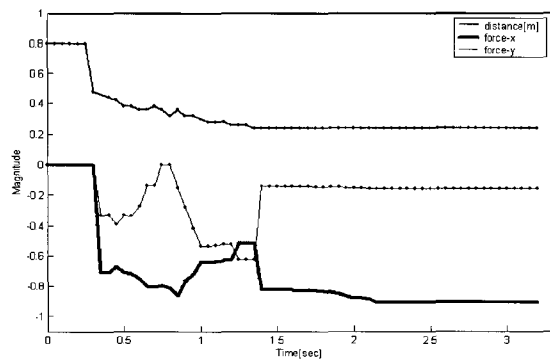


그림 13. UMR의 오른쪽 측면에 장애물이 있을 경우의 조이스틱 X, Y 축의 반향 힘.  
Fig. 13. Reflection force of joystick X, Y axis, case of exist obstacle at right side of UMR.

2. 반향 힘 생성 알고리즘에 대한 시뮬레이션

그림 12는 UMR의 왼쪽 측면( $90^\circ \sim 180^\circ$ )에서 장애물이 감지되었을 경우 X축과 Y축에 가해지는 반향 힘을 나타낸다. 장애물과의 거리가 점점 가까워지는 0.2[sec] ~ 1.0[sec] 구간에서는 X, Y축에 힘의 변화가 있다. 장애물이

UMR과 나란히 있는 1.0[sec] 이후 구간에서는 X축에는 많은 힘이 발생하고 Y축에는 거의 힘이 발생하지 않는다.

그림 13은 UMR의 오른쪽 측면( $0^\circ \sim 90^\circ$ )에서 장애물이 감지되었을 경우 X축과 Y축에 가해지는 반향 힘을 나타낸다. 장애물이 UMR과 나란히 있는 1.3[sec] 이후 구간에서는 X축에는 많은 힘이 발생하고 Y축에는 거의 힘이 발생하지 않는다.

이때 나타나는 X축의 힘은 장애물이 왼쪽 측면에 있을 때와는 반대의 크기를 가진다.

Y축에만 나타나는 힘의 크기를 측정하기 위해서는 UMR과 장애물이 서로 마주보며 있어야 한다. 이때에는 UMR이 진동을 하게 된다.

그림 14는 장애물과의 거리와 UMR의 속도에 의해 생성되는 반향 힘의 크기를 나타낸다. Host PC의 퍼지 반향 힘 생성 알고리즘에 의해 적절한 반향 힘이 생성되는 것을 알 수 있다.

2.1 퍼지 Command smoothing 알고리즘에 대한 시뮬레이션

그림 15는 장애물이 감지되지 않았을 경우 조이스틱의 각도 변화에 따른 UMR의 자세를 나타낸다. 조이스틱의 명령을 UMR에 그대로 인가하지 않고 퍼지 Command smoothing 알고리즘을 적용시켜 인가했을 경우 UMR의 자세가 부드럽게 변한 것을 볼 수 있다.

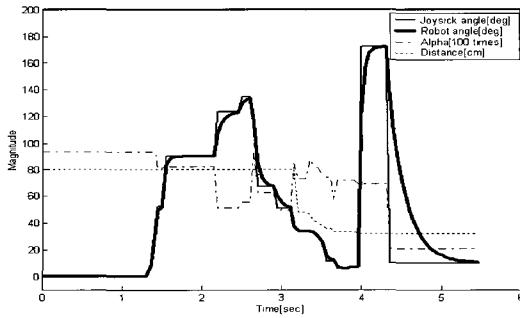


그림 16. 장애물이 감지되었을 경우 UMR의 속도와 생성된 반향 힘의 관계.

Fig. 16. Relation of between UMR velocity and generated reflection force, case of obstacle detect.

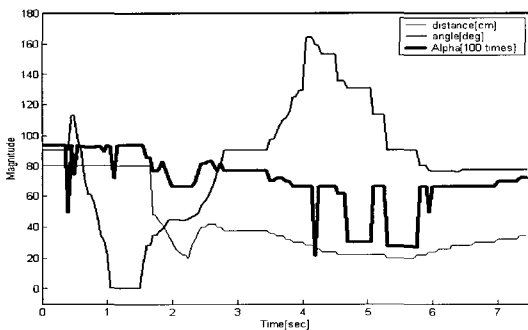


그림 17. 장애물과의 거리와 조이스틱 각도의 변화량에 따른 'α' 값의 변화.

Fig. 17. Variation of 'α' according to obstacle distance and variation of joystick angle.

그림 16은 장애물이 감지되었을 경우 조이스틱 입력에 따른 UMR의 자세를 나타낸다. 샘플링시간 내에 조이스틱 각도의 변화량이 많은 경우 퍼지 Command smoothing 알고리즘이 아주 적절하게 적용됨을 알 수 있다.

그림 17은 장애물과의 거리와 조이스틱 각도의 변화량에 따른 'α' 값을 나타낸다. Host PC의 퍼지 Command filtering 알고리즘에 의해 적절한 로봇 제어 명령(α)이 생성되는 것을 알 수 있다.

V. 결론

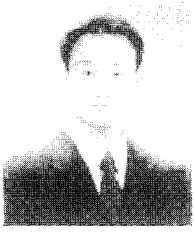
본 논문에서는 퍼지 논리를 사용하여 생성한 힘 반향 알고리즘과 Command smoothing 알고리즘을 UMR의 원격 제어에 적용하였다. 개발된 힘 반향 조이스틱을 UMR의 원격제어에 이용함으로써 조작자는 장애물 출현시 특정

위치에 물체가 존재함을 인지할 수 있었다. 또한 조작자의 실수 등으로 인한 급격한 조이스틱의 움직임에는 퍼지 Command smoothing 알고리즘을 적용함으로써 UMR의 급격한 방향 전환을 방지하였다.

조이스틱의 변화량이 미소할 경우에는 퍼지 Command smoothing 알고리즘이 적용되지 않으므로 실행시간에 영향을 미치지 않는다. 그러나 조이스틱의 변화량이 크거나 장애물이 근처에 있을 경우 퍼지 Command smoothing 알고리즘이 적용되므로 이때 실행시간은 증가한다. 일반적으로 원격제어에 사용되는 이동로봇은 빠른 응답을 필요로 하지 않는다. 따라서 본 논문에서 사용되는 UMR의 특성상 이때 증가하는 실행시간이 시스템에 영향을 미치지 않는다. 그러나 보다 빠른 응답을 요구하는 시스템에서는 실행시간의 증가에 따른 영향을 고려하여야 할 것이다.

참고문헌

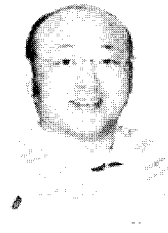
- [1] S. Thongchai, S. Suksakulchai, D. M. Wilkes, and N. Sarkar, "Sonar Behavior-Based Fuzzy Control for a Mobile Robot," *2000 IEEE International Conference on Systems*, vol. 5, pp. 3532-3537, 2000.
- [2] K.-Y. Im, S. Y. Oh, "An Extended Virtual Force Field Based Behavioral Fusion with Neural Networks and Evolutionary Programming for Mobile Robot Navigation," *Proc. of the 2000 Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 2, pp. 1238-1244, 2000.
- [3] S.-G. Hong, J.-J. Lee and S. H. Kim, "Generating Artificial Force for Feedback Control of Teleoperated Mobile Robots," *Proc. of the 1999 International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1721-1726, 1999.
- [4] N. Ando, M. Ohto, K. Gonda, Hideki Hashimoto, "Micro Teleoperation with Parallel Manipulator," *Proc. Of the 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings*, 63-68, 2001.
- [5] Ren C. Luo, Chi-Yang Hu, Tse Min Chen and Meng-Hsien Lin "Force Reflective Feedback Control for Intelligent Wheelchairs," *Proc. of the 1999 International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 918-923, 1999.
- [6] F. Arai, M. Tanimoto, T. Fukuda, "Concept of Multimedia Tele-medicine and Fundamental Experiment for Catheter Teleoperation," *Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan C-A*, vol. 117-C, no. 5, pp. 506-513, 1997.



**유 봉 수**

2000년 창원대 제어계측공학과 졸업.  
2002년 동 대학원 제어계측공학과 졸업  
(공학석사). 2002년~현재 동 대학원 제  
어계측공학과 박사과정. 관심분야는 퍼  
지제어, 이동로봇, DSP 기반 Controller  
개발, Electro-hydraulic Servo System용

DSP Controller 개발 및 제어.



**조 중 선**

1991년 Georgia Institute of Technology  
Dept. of Mechanical Eng. (공학박사).  
1991년~1993년 국방과학연구소. 1993  
년~창원대학교 제어계측공학과 교수.  
2001년 IEEE Trans. of Fuzzy Systems  
최우수 논문상 수상. 관심분야는 지능

제어, DSP 기반 Controller 개발, BLDC Motor Driver &  
Controller 개발, Electro-hydraulic Servo System용 DSP  
Controller 개발 및 제어.