

# 재활 보조 시스템 제어를 위한 힘 반향 조이스틱 기법에 관한 연구

홍준표, 이응혁\*, 김병수\*\*, 김승호\*\*, 홍승홍

## A Study on the Force Reflection Joystick Method for controlling Rehabilitation Assisting System

J. P. Hong, \*E. H. Lee, \*\*B. S. Kim, \*\*S. H. Kim, S. H. Hong

Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.

\*Dept. of Information and Electronic Eng., Konyang Univ.

\*\*Robot Development Team, Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : g9611110@inhavision.inha.ac.kr

### Abstract

In this paper, we proposed force reflection method using joystick for controlling rehabilitation assisting mobile robot. We defined reflected force equation as two terms. One is distance between mobile robot and obstacle, the other is speed of rehabilitation assisting robot. And we found the each gain value which guarantees stable navigation of robot. And we experimented simulation with simulation program supporting virtual 2-D map

Through the experiments, we confirmed force reflection algorithm is efficient when controlling rehabilitation assisting robot.

### 1. 서 론

재활 보조 시스템의 입력 장치로 조이스틱을 사용하는 경우, 조작자는 재활 보조 시스템이 벽과 장애물과 충돌하는지의 여부를 항상 주의를 기울여 살펴야만 한다. 전동 휠체어와 같은 경우에는 조작자가 재활 보조 시스템과 조작자가 재활 보조 시스템과 함께 이동하기 때문에 충돌과 같은 안전 사고의 문제가 적으나, 원격으로 제어되는 재활 보조 시스템의 경우에는 그 위험성이 크다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 한 가지 방법으로 재활 보조 시스템이 되는 로봇에 CCD 카메라를 장착함으로써 영상 처리를 통하여 장애물의 정보를 파악하는 방법이 있다. 그러나 영상 처리에 의해 장애물의 존재를 정확히 파악한다는 것은 한계가 있다. 또한 CCD 카메라를 사용하는 경우 재

활 보조 시스템 주변의 모든 환경 정보가 아닌, 카메라에 포착된 영상만을 얻는다는 단점이 있기 때문에 장애물 존재의 여부를 조작자 스스로가 영상을 통해 판단하더라도 벽이나 장애물과의 충돌 위험성은 그대로 남아있게 된다.

따라서 본 논문에서는 우주나 원자력 발전소, 해저, 우주와 같은 공간에서 주로 사용되는 마스터/슬레이브(Master/Slave) 기반의 힘 반향 기법을 조이스틱에 적용하여, 노약자·장애인의 보행을 돕는 - 탐승이 가능하거나 원격 제어가 가능한 - 재활 보조 이동 로봇 시스템에 적용하였다.

재활 보조용 이동 로봇 둘레에 거리 측정 센서 어레이(Sensor Array)를 부착함으로써 벽이나 장애물에 대한 정보를 획득하여 이를 조작자의 조이스틱에 피드백(feedback)시키도록 하여, 조작자는 피드백된 힘을 조이스틱을 통해 손으로 느낌으로써 장애물에 대한 접근도를 느끼게 된다. 또한 조작자가 재활 보조 시스템에 탐승하여 시스템의 위치 제어를 행할 경우 조작자의 실수 내지 오조작 등으로 인한 조이스틱의 놓침, 또는 손 떨림으로 인한 조이스틱의 흔들림으로 인한 조작자나 재활 보조 시스템 주변의 안전 사고의 위험을 방지하기 위하여 조이스틱에 가하는 전체적인 반향 힘에 시간당 변위량에 따른 반향 힘을 같이 부여하여 재활 보조 시스템의 안정성을 높이도록 하였다.

### 2. 힘 반향 조이스틱

조이스틱은 조작자로부터 2차원 좌표값을 얻기 위해 설계된 입력 장치이다. 조이스틱은 2차원의 좌표값을 받는 특성으로 인해 이동 로봇의 위치 제어를 위해서도 많이 사용되는 입력 장치이다.

본 논문에서 힘 반향 알고리즘을 실험하기 위해

사용한 조이스틱은 그림 1에 보이는 CH Products사에서 개발한 가상 현실(virtual reality) 제품들 중 하나인 Force FX이다.

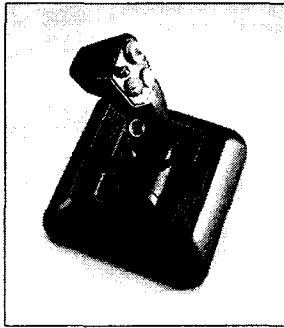


그림 1. 힘 반향 조이스틱(Force FX)의 외관

CH Products사는 프로그램 개발을 위해 I-Force API/S아를 제공하고 있으며, 실험에서는 X축과 Y축에 대한 극좌표값(값의 범위: -100~+100)으로 이루어진 벡터 단위의 힘을 반향시켜주는 함수를 사용하였다.

그림 2는 실험에 사용한 힘 반향 조이스틱의 데이터 흐름도를 보여주고 있다.

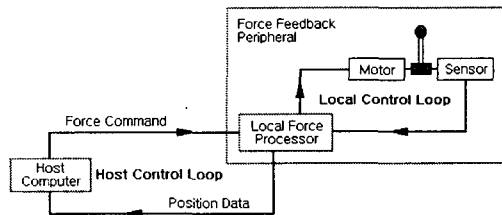


그림 2. 힘 반향 조이스틱의 데이터 흐름도

### 3. 반향 힘 $F_{rd}$ 의 모델링

힘 반향 조이스틱으로 이동 로봇을 제어할 때 주안점으로 두어야 할 부분은 로봇이 장애물에 대해 접근함에 따라 사용자의 힘 반향 조이스틱에 가해지는 힘에 대한 정의이다. 이 반향 힘(reflected force)을 다르게 해석하면 장애물이 로봇을 밀어내는 힘이라고 볼 수 있다. 이 반향 힘을 정의하는 한 방법으로는 로봇이 장애물에 가까워질수록 거리에 반비례하는 반향 힘을 힘 반향 조이스틱에 가해주는 것이다.

조작자에게 반향되는 힘인  $F_{rd}$ 를 기계적인 측면

에서 분석해보면 탄성(elasticity)이  $K_p$ 인 스프링과 점성(viscosity)이  $K_d$ 인 댐퍼가 부착된 메커니즘으로 모델링할 수 있다. 반향 힘  $F_{rd}$ 는 다음과 같이 스프링과 댐퍼의 합으로 정의하였다.

$$F_{rd} = F_s + F_a \quad (1)$$

여기서  $F_s$ 는 장애물에 의해 반향되는 스프링의 효과에 해당되는 힘이며,  $F_d$ 는 조작자의 급작스런 조이스틱 제어를 막아주는 댐퍼의 역할에 해당하는 힘이다. 또한  $F_s$ 와  $F_d$ 는 각각 식 2와 같이 계수를 가진 스프링과 댐퍼로 생각할 수 있다.

$$F_{rd} = K_p \cdot d + K_d \cdot \dot{d} \quad (2)$$

여기서  $d$ 는 로봇이 장애물에 대해 접근함에 따라 생성되는 스프링의 효과를 나타내는 반발 힘이며,  $\dot{d}$ 는 조작자가 급작스럽게 조이스틱을 조작하여 로봇 제어를 시도하는 것을 방지하는 점성의 효과를 내는 댐퍼의 힘이다. 그리고  $K_p$ 와  $K_d$ 는 힘 반향 조이스틱의 특성에 따라 올바른 이득값을 설정하기 위한 각각의 힘에 대한 계수이다.

### 3.1 가상 탄성 영역에 의한 반향 힘 - $F_s$

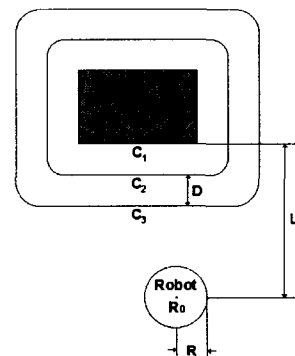


그림 3. 반향 힘  $F_s$ 를 생성하기 위한 가상 장애물의 정의

조작자의 입력에 따라 로봇은 2차원 공간을 주행하게 되며, 이에 따라 로봇 둘레에 부착된 거리 감지 센서들을 통해 로봇과 장애물간의 거리가 측정된다. 로봇이 장애물에 접근할 경우, 이를 조작자의 조이스틱에 힘으로 가해주기 위해서 실제

장애물은 그림 3과 같은 탄성을 갖는 가상의 장애물로 정의할 수 있다.

그림 3에서  $C_2$  곡선 내부에 이동 로봇의 중심 점이 위치하면 장애물과의 충돌이 발생한 것이므로 충돌이 발생하지 않도록 하기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$L > R \quad (3)$$

여기서  $L$ 은 로봇 중심  $R_0$ 와 장애물간의 거리를 나타낸다.  $C_2$  외부에  $C_3$ 라는 새로운 폐곡선 영역을 만들고 이를 가상의 장애물(virtual obstacle)로 정의한다. 가상의 장애물  $C_3$ 는 장애물의 특성을 반영하는 탄성(elasticity)을 갖는 곡면으로 생각할 수 있다. 즉 이동 로봇의 중심인  $R_0$ 가  $C_3$ 의 외부에서 내부로 진행할 때 탄성을 갖는  $C_3$ 는 변형이 생기게 되며 이를 원상태로 복원하려는 성질로 인해  $R_0$ 는  $C_3$ 의 외부로 밀려나는 방향으로 힘을 받게 된다.

이러한 방법을 실제의 이동 로봇에 적용하기 위해서는 거리 감지 센서를 사용해서 장애물과의 접근 정도를 알아내야 한다. 실제 장애물에 대한 가상 장애물의 효과를 주기 위해 센서의 감응 거리 내에 윈도우(window)의 개념을 두어 센서의 감응 거리 내에 장애물이 존재하더라도 이 윈도우 범위 내에 들지 않으면 장애물은 감지되지 않은 것으로 판단하게 된다.

### 3.2 안정적인 주행을 위한 반향 힘 - $F_d$

조이스틱의 힘 반향 기법의 목적은 전동 휠체어와 같이 조작자의 탑승이 가능하거나 원격으로 제어 가능한 재활 보조 이동 로봇 시스템의 효율적이고 원활한 주행에 있다. 앞서 보인 힘 반향 조이스틱에 아무런 힘 반향 명령을 내리지 않으면, 힘 반향 조이스틱은 일반 조이스틱과 같은 스프링만의 특성을 갖게 된다. 이러한 스프링의 특성에 해당하는 장애물 접근에 따른 반향 힘  $F_s$ 를 생성할 경우 조이스틱은 스프링 특성만을 갖기 때문에 재활 보조 시스템은 장애물의 존재 여부에 따라 매우 심한 진동을 가질 수 있다.

이 반향 힘  $F_s$ 에 의한, 또는 조작자의 실수나 오조작으로 인한 재활 보조 시스템의 위치의 급격한 변화를 막기 위한 반향 힘을  $F_d$ 로 정의하였으며, 생성 방법은 그림 2-8과 같다.

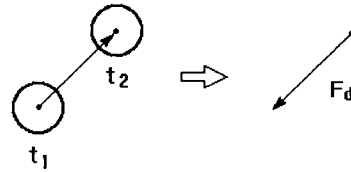


그림 4. 로봇 이동에 따른 반향 힘  $F_d$ 의 생성

$F_d$ 는 재활 보조 이동 로봇의 이동 속도 미분 값인 변위에 비례하도록 스케일링된 힘이다.  $F_d$ 의 실제의 적용을 위해서는 시스템의 중량 및 최대 속도를 고려한 설정이 필요하다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 반향 힘  $F_d$ 를 이동 로봇의 시간 당 변위에 해당하는 벡터의 방향과 크기로 설정하였다.

## 4. 실험 및 결과

다음은 가상의 복도 공간을 구성하여 재활 보조 이동 로봇을 주행시켰을 경우에 대한 모의 실험이다.

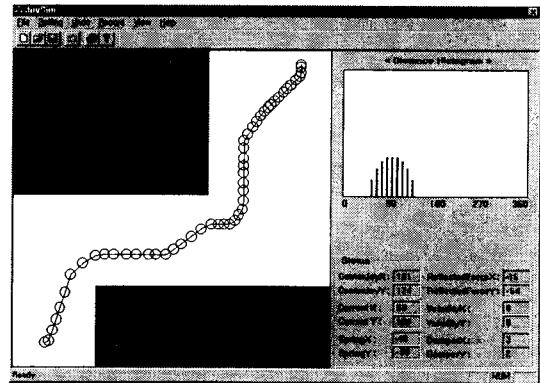


그림 5. 힘 반향 조이스틱 시뮬레이션 프로그램의 실행 화면

여기서 로봇의 진행 방향은 그림 5에 나타난 것과 같이 시작점(Start)로부터 끝점(Goal)까지 주행하였으며, 이 때 로봇의 주행에 따른 반향되는 힘  $F_s$ ,  $F_d$ , 그리고  $F_{rd}$ 를 살펴 보면 그림 6과 같다.

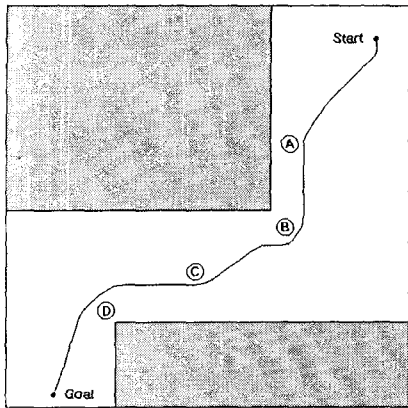


그림 6. 가상의 복도에서의 이동 로봇의 주행

그림 7은 실험 환경에 대한 X 축의 반향 힘을 보여 준다. 출발점(Start)으로부터 (A)지점까지 벽에 점차 접근함에 따라 반향 힘은 점차 증가함을 알 수 있다. 그래프 전반에 걸쳐 스프링 특성의 반향 힘(가는 실선)은 로봇의 이동 속도에 따른 댐퍼 특성의 반향 힘(점선)과 합해져 전체적인 반향 힘(굵은 실선)이 생성됨을 알 수 있다.

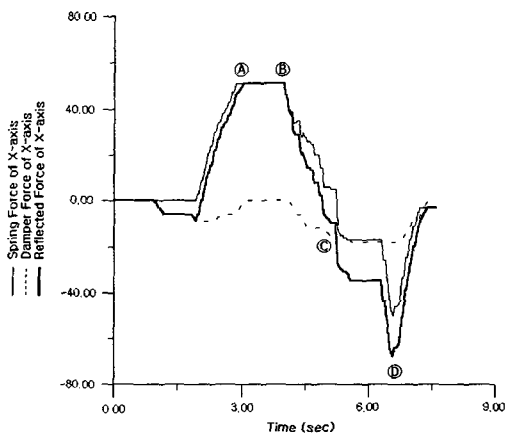


그림 7. 가상 복도 주행시 X 축 반향 힘

그림 8은 실험 환경에 대한 Y 축의 반향 힘을 보여 준다. 여기서 전체적인 반향 힘(굵은 실선)은 로봇의 이동 속도에 따라 스프링에 대한 반향 힘(가는 실선)에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

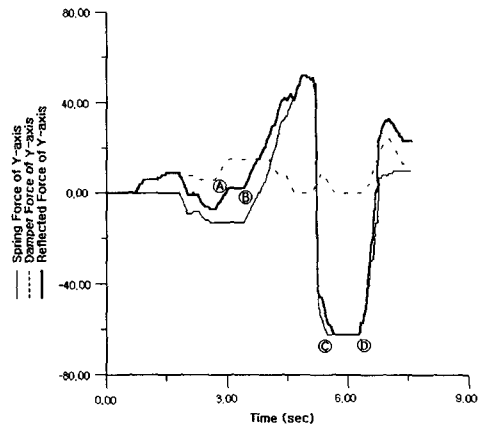


그림 8. 가상 복도 주행시 Y 축 반향 힘

## 5. 결론

본 논문에서는 노약자나 장애인의 보행 기능을 돕는 재활 보조 이동 로봇 시스템의 제어하기 위한 수단으로서의 힘 반향 조이스틱 기법에 대하여 연구하였다.

재활 보조용 이동 로봇을 조종하는 조작자에게 효과적인 힘을 반향시키기 위해 힘 반향 조이스틱에 반향되는 힘  $F_{rd}$ 로 모델링하였으며, 이 힘은 스프링의 특성과 댐퍼의 특성으로 구성하였다.

재활 보조 시스템이 가상의 복도 공간을 주행하는 모의 실험을 통해 조작자의 숙련도에 따라 차이는 있으나 장애물 정보를 조이스틱을 통해 조작자에게 전달함으로써 조작 성능 및 장애물에 대한 충돌 안정성이 향상됨을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] Rory A. Cooper, "Rehabilitation Engineering Applied to Mobility and Manipulation", IOP Publishing 1995, pp.30-35, 291-302
- [2] J. Borenstein, Y. Koren, "The Vector Field Histogram - Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.7, No.3, June 1991, pp.278-288
- [3] J. Borenstein, Y. Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol.19, No.5, Sept./Oct. 1989, pp.1179-1187
- [4] The Force Feedback API Release 2.0, Immersion Corporation, Feb. 6, 1996