

논문 2009-46SC-1-3

시변시간지연 시스템을 위한 수동성 양방향 원격 제어기

(Passive Bilateral Control of Teleoperators under Varying Time-Delay)

고 영*, 유 성 구**, 정 길 도***

(Gu Ying, Sung Goo Yoo, and Kil To Chong)

요 약

인터넷과 같은 네트워크 시스템에서 네트워크 혼잡, 대역폭, 거리에 따라 발생하는 시변 시간지연을 해결하는 것은 양방향 원격제어 시스템을 설계할 때 해결해야할 문제이다. 불규칙적인 시간 지연은 전체 시스템의 성능을 저하시키거나 불안정하게 만들 수 있기 때문이다. 이러한 안정성 문제를 해결하기 위해 양방향 원격 제어 시스템에서 수동성 이론이 사용되어져 왔다. 본 논문에서는 시간 지연의 변화율에 따라 전송 제어기에 시변 이득을 적용하여 수동성을 확보할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템의 성능 결과를 보였다.

Abstract

Bilateral teleoperation systems, connected to computer networks such as Internet have to deal with the time delay depending on factors such as congestion, bandwidth or distance. And the entire system is easy to become unstable due to irregular time delay. Passivity concept has been using as a framework to solve the stability problem in bilateral control of teleoperation. In this paper, we present a suitable time varying gain inserted in the transmission path that can recover passivity provided a bound on the rate of change of the known delay. Simulation results are presented showing the performance of the resulting control architecture.

Keywords: Bilateral teleoperation, passive control, time delay

I. 서 론

마스터-슬레이브 형태의 원격제어 시스템을 Goertz와 Thompson이^[1] 1954년에 확립한 이후 50년 동안 양방향 원격제어 시스템을 이해하고 문제를 해결하기 위해 수많은 연구가 진행되었다. 오늘날에도 모바일 로봇, 원격 수술, 우주탐사, 해저시스템, 가상현실과 같은 원격제어 기반의 연구에 많은 연구자들이 이 분야의 연구에 노력을 기울이고 있다. 이런 원격 제어 기반의 연구에서 시간지연은 항상 해결해야할 문제이다. 시간지연

은 원거리에서 데이터를 전송할 때 발생하는데 적절한 제어를 하지 않는다면 시스템을 쉽게 불안정하게 만들 수 있다.

1989년 Anderson과 Spong이^[2] 시간 지연 문제를 해결하는 방안에 대해 처음 제안하였는데, 수동성(Passivity)과 분산이론(Scattering)을 이용하여 시간지연에 의해 발생하는 불안정성을 해결하였다. 그러나 선형 시불변 시스템 설계를 다루었고 시간지연 또한 일정하기 때문에 시변 특성을 가지는 시스템에는 적용하는데 문제가 있다. 그리고 Neimeyer와 Slotine^[3]은 분산이론을 확장하여 Wave 변수를 사용한 원격제어시스템을 제안하였다. 2포트(port) 통신 시간 지연 시스템에서 Wave 변수와 Wave 분산을 통해 수동성을 보장하는 방법이며 응답적인 측면에서 고정적인 특성의 임피던스를 획득할 수 있었다.

Lozano^[4]는 기존 수동성 이론을 확장하여 에너지 흐름에 작은 이득변수를 추가하여 시변지연시스템을 안정

* 학생회원, *** 정회원-교신저자, 전북대학교 전자정보공학부

(Electronics and Information Department, Chonbuk National University).

** 정회원, 전북대학교 제어계측공학과

(Control and Instrumentation Department, Chonbuk National University)

※ 이 논문은 BK21 인력양성사업지원으로 연구되었음.

접수일자: 2008년11월22일, 수정완료일: 2009년1월12일

화 시키는 방안을 제안하였다. 하지만 불확실성을 가지는 시간지연의 변화량 미분값이 이득과 연관되므로 변화량을 예측해야만 하는 단점이 있다. Leeraphan^[5]은 출력 변수에 따라 변하는 시변이득 파라미터 b 를 시변 지연시간 시스템에 사용하였다. 하지만 수동성 제어에는 효과적이지 못함을 보였다^[2,6]. Hou^[7]와 Luecke^[8]는 수동성 시스템의 수동성을 감지하는 방법을 제안하였다. 시스템이 수동성을 잃어버리면 수동성 조절기를 사용하여 이를 보완한다. 또한 Hirche^[9]와 Buss^[10]는 강인한 수동성을 확보하는 방법으로 임피던스 매칭 필터를 제안하였으며 이산화 시스템에서 수동성 제어를 표현하는 방법 또한 연구되었다^[11~12].

분산이론(Anderson과 Spong, 1989)과 등가 Wave 변수 공식(Niemeyer와 Slotine, 1991)을 기반으로 하는 양방향 원격제어 시스템 제어 연구는 일반적으로 일정한 시간 지연 상에서 수동성을 유지한다. 하지만 인터넷을 통해 원격제어를 수행할 경우 네트워크 혼잡, 대역폭, 거리에 따라 시간지연이 변하기 때문에 시스템의 성능을 심각하게 감소시키거나 불안정하게 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 시간에 따라 변하는 시간지연에 대하여 시스템에 시변 이득을 적용하여 수동성을 보장하는 제어를 제안하였으며, 이를 간단하게 공식화하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 수동성 이론에 대해 간략히 설명하였으며, III장에서는 양방향 원격제어시스템에 대해 기술하였다. IV장에서는 제안한 시스템에 대해 기술하였으며, V장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 성능을 평가하였다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문의 결론을 기술하였다.

II. 수동성 이론

수동성 이론은 Lyapunov 이론으로부터 파생되었으며, 시스템의 안정성 분석과 제어기 설계에 강력한 기능을 제공한다. 물리적 요소인 전력과 에너지를 이용해 수학적 공식으로 나타낼 수 있는데, 시스템에 입력된 출력 P 를 입력 벡터 x 와 출력 벡터 y 의 스칼라 곱이라고 정의한다면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P = x^T y = \frac{dE}{dt} + P_{diss} \quad (1)$$

여기서, E 는 저장된 에너지이고, P_{diss} 는 손실된 출력을 나타낸다. 식 (1)에서 출력이 저장되거나 손실됨을

볼 수 있는데, 이것은 시간 t 에 따라 시스템에 입력된 총 에너지는 초기 저장된 에너지 $E(0)$ 에 따라 제한되는 것을 내포한다.

$$\begin{aligned} \int_0^t P d\tau &= \int_0^t x^T y d\tau \\ &= E(t) - E(0) + \int_0^t P_{diss} d\tau \geq -E(0) \quad (2) \\ &= constant \end{aligned}$$

만약 항상 출력 손실이 0이라면, 시스템 또한 손실이 없다. 반대로 저장된 에너지가 하한경계에 도달하지 않고 출력 손실이 양의 값을 가지면 시스템은 수동적이다. Lyapunov 함수처럼 저장된 에너지를 사용하면 추가적인 입력 없이 시스템의 안정성을 빠르게 회복할 수 있고, 수동성 시스템은 안정함을 볼 수 있다.

III. 양방향 원격제어 시스템

일반적인 원격제어 시스템은 그림 1과 같은 형태의 블록선도로 나타낼 수 있으며, 5개의 하부시스템 즉 사용자, 주조작기, 통신블록, 종조작기, 매니플레이터로 구성한다. 그림에서 \dot{x} 는 속도, F 는 힘을 나타낸다.

일반적으로, 주조작기는 위치와 속도 정보를 종조작기의 매니플레이터에 전달하고, 동시에 힘반향 값을 원하는 명령 형태로 주조작기로 재전송한다. 통신 블록은 주시스템과 원격시스템을 연결하며 물리적인 전송시간 또는 통신대역폭의 한계로 인해 시간지연을 발생시킨다. 그림 2는 일정한 시간지연을 가지는 통신 모델을

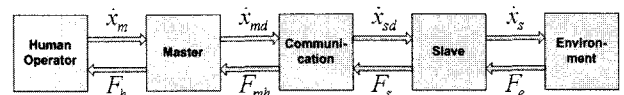


그림 1. 양방향 원격제어 시스템의 블록선도
Fig. 1. Block diagram of teleoperation system.

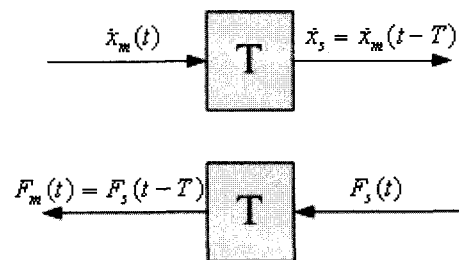


그림 2. 일정한 시간지연을 가지는 통신시스템
Fig. 2. Standard communication with constant time delay.

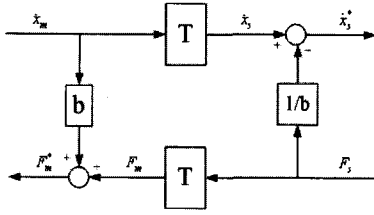


그림 3. 효율적인 출력손실 통신 시스템
Fig. 3. Standard communication with sufficient dissipation.

표현하였다.

여기서 출력 변수는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_s(t) &= \dot{x}_m(t-T) \\ F_m(t) &= F_s(t-T) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 T 는 통신블록에서 발생하는 시간지연이 상수항으로 정의하였다. 입력 변수 x_m 과 F_s 의 확실한 선택으로 음의 출력 손실이 전체 시스템을 불안정하게 할 수 있음을 쉽게 확인할 수 있다. Neimeyer는 시스템을 효과적으로 감쇠시키는 방법을 통하여 시간지연 시스템의 안정화에 대해 설명하였다. 여기서 시스템의 감쇠요소는 통신 출력 포트 양단에 위치하며 그림 3에 시간지연 T 에 따라 효과적인 출력손실을 가지는 기본 통신시스템을 나타내었다. 시스템이 양의 출력 손실을 보장하면 분명하게 수동성을 가지는 시스템이 되며 이는 안정성을 보장한다.

그림 3의 수동성 통신의 관계에 따라 구현된 출력 변수는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} F_m^* &= F_m + bx_m \\ x_s^* &= x_s - 1/bF_s \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 시변시간 t 에 시스템으로 입력되는 출력변수를 계산하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} P &= \frac{dE}{dt} + P_{diss} = \dot{x}_m(t)F_m^*(t) - \dot{x}_s^*(t)F_s(t) \\ &= \left[\frac{1}{2b}F_m^2(t) + \dot{x}_m(t)F_m(t) + \frac{b}{2}\dot{x}_m^2(t) \right] \\ &\quad + \left[\frac{1}{2b}F_s^2(t) + \dot{x}_s(t)F_s(t) + \frac{b}{2} \right] \\ &\quad + \left[\frac{b}{2}\dot{x}_m^2(t) - \frac{b}{2}\dot{x}_s^2(t) + \frac{1}{2b}F_s^2(t) - \frac{1}{2b}F_m^2(t) \right] \\ &= \frac{1}{2b}F_m^2(t) + \frac{b}{2}\dot{x}_s^2(t) + \left[\frac{d}{dt} \int_{t-T}^t \frac{b}{2}\dot{x}_m^2(\tau)d\tau \right. \\ &\quad \left. + \frac{d}{dt} \int_{t-T}^t \frac{1}{2b}F_s^2(\tau)d\tau \right] \end{aligned}$$

식 (1)로부터 출력손실 P_{diss} 와 저장된 에너지 E 는 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{diss} &= \frac{1}{2b}F_m^2(t) + \frac{b}{2}\dot{x}_s^2(t) \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{d}{dt} \int_{t-T}^t \frac{b}{2}\dot{x}_m^2(\tau)d\tau + \frac{d}{dt} \int_{t-T}^t \frac{1}{2b}F_s^2(\tau)d\tau \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 손실된 에너지가 음의 값이 아니므로 시스템은 수동성을 유지한다. 그렇지만 $T=T(t)$ 이면 위의 결과는 유지되지 않는다. 즉 시간지연이 변한다. 시변지연경우의 마스터-슬레이브 사이의 변수관계를 표현하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_s(t) &= \dot{x}_m(t-T_1(t)) \\ F_m(t) &= F_s(t-T_2(t)) \end{aligned} \quad (7)$$

또한 식 (2)로부터 시변지연 신호전송 시스템의 총에너지를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E &= \int_0^t (\dot{x}_m F_m + bx_m^2 - \dot{x}_s F_s + \frac{1}{b}F_s^2)dt \\ &= \int_0^t \left(\frac{1}{2b}F_m^2 + \frac{b}{2}\dot{x}_m^2 \right)dt + \int_0^t \left(\frac{b}{2}\dot{x}_m^2 + \frac{1}{2b}F_s^2 \right)dt \\ &\quad - \int_0^t \left(\frac{b}{2}\dot{x}_m^2(t-T_1(t)) + \frac{1}{2b}F_s^2(t-T_2(t)) \right)dt \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 항상 $E > 0$ 을 보장할 수 없다. 즉 제어기와 매니플레이터 시스템 사이에 음의 출력 손실이 발생할 수 있으므로 시스템이 수동성을 잃거나 불안정해질 수 있다.

IV. 시변지연 시스템을 위한 새로운 수동성 구조

시변지연에 의해 발생하는 잠재적인 불안정성을 해결하기 위해 그림 4와 같이 수정된 모델을 제안하였다. 시변이득 f_i 를 시변지연 블록의 출력단에 부착하였다.

시스템을 수식화하여 표현하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} F_m^*(t) &= F_m(t) + bx_m = f_2(t)F_s(t-T_2(t)) + bx_m \\ F_s(t) &= b(\dot{x}_s(t) - \dot{x}_s^*(t)) \\ &= b(f_1(t)\dot{x}_m(t-T_1(t)) - \dot{x}_s^*(t)) \end{aligned} \quad (9)$$

시간 t 에 따라 시스템에 입력되는 총 에너지는,

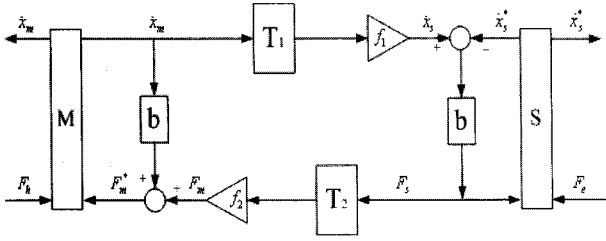


그림 4. 통신 채널에 시변이득 f_i 를 추가한 시스템 구조
 Fig. 4. Modified architecture with time varying gain f_i inserted in the communication channel.

$$\begin{aligned}
 & \int_0^t (\dot{x}_m F_m^* - \dot{x}_s^* F_s) d\tau \\
 &= \int_0^t \left(\frac{b}{2} \dot{x}_m^2 + \frac{1}{2b} (b\dot{x}_m + F_m)^2 - \frac{F_m^2}{2b} + \frac{1}{2b} F_s^2 \right. \\
 & \quad \left. + \frac{b}{2} (\dot{x}_s - \frac{1}{b} F_s) - \frac{b}{2} \dot{x}_s^2 \right) d\tau \quad (10) \\
 &= \int_0^t \left(\frac{b}{2} \dot{x}_m^2 + \frac{1}{2b} F_s^2 + \frac{1}{2b} F_m^{*2} + \frac{b}{2} \dot{x}_s^* \right) d\tau \\
 & \quad - \int_0^t \left(\frac{F_m^2}{2b} + \frac{b}{2} \dot{x}_s^2 \right) d\tau \\
 &= \int_0^t \left(\frac{b}{2} \dot{x}_m^2 + \frac{1}{2b} F_s^2 + \frac{1}{2b} F_s^{*2} + \frac{b}{2} \dot{x}_s^* \right) d\tau \\
 & \quad - \frac{1}{2b} \int_0^t f_2^2(\tau) F_s^2(\tau - T_2(\tau)) d\tau \\
 & \quad - \frac{b}{2} \int_0^t f_1^2(\tau) \dot{x}_m^2(\tau - T_1(\tau)) d\tau
 \end{aligned}$$

이다.

여기서 $\sigma_i(\tau) = \tau - T_i(\tau)$ 라고 가정하면 새로운 변수 $\alpha_i = E\sigma_i(\tau)$ 로 정의할 수 있다. 함수의 역은 $\sigma_i^{-1}(\alpha)$ 와 같고 $\alpha \equiv \sigma_i^{-1}(\alpha) - T_i(\sigma_i^{-1}(\alpha)), \forall \alpha \in R_+$ 이다.

$\dot{T}_i(t) < 1$ 이라고 가정하면 σ_i^{-1} 은 σ_i 로 나타낼 수 있으므로,

$$\begin{aligned}
 & \int_0^t f_2^2(\tau) F_s^2(\tau - T_2(\tau)) d\tau \\
 &= \int_0^{t-T_2(t)} \frac{f_2^2(\sigma_2^{-1}(\alpha))}{1 - \dot{T}_2(\sigma_2^{-1}(\alpha))} F_s^2(\alpha) d\alpha \\
 & \int_0^t f_1^2(\tau) \dot{x}_m^2(\tau - T_1(\tau)) d\tau \\
 &= \int_0^{t-T_1(t)} \frac{f_1^2(\sigma_1^{-1}(\alpha))}{1 - \dot{T}_1(\sigma_1^{-1}(\alpha))} F_s^2(\alpha) d\alpha \quad (11)
 \end{aligned}$$

이다. 식 (11)을 (10)에 대입하면

$$\begin{aligned}
 & \int_0^t (\dot{x}_m F_m^* - \dot{x}_s^* F_s) d\tau \\
 &= \int_0^t \left(\frac{1}{2b} F_m^{*2} + \frac{b}{2} \dot{x}_s^* \right) d\tau + \int_{t-T_1(t)}^t \frac{b}{2} \dot{x}_m^2 d\tau \\
 & \quad + \int_{t-T_2(t)}^t \frac{1}{2b} F_s^2 d\tau \quad (12) \\
 & \quad + \int_0^{t-T_1(t)} \xi_1(\alpha) \dot{x}_m^2(\alpha) d\alpha \\
 & \quad + \int_0^{t-T_2(t)} \xi_2(\alpha) F_s^2(\alpha) d\alpha
 \end{aligned}$$

와 같다.

여기서

$$\xi_i(\alpha) = \frac{1 - \dot{T}_i(\sigma_i^{-1}(\alpha)) - f_i^2(\sigma_i^{-1}(\alpha))}{1 - \dot{T}_i(\sigma_i^{-1}(\alpha))}, i = 1, 2 \quad (13)$$

이며 $f_i(t), t \geq 0, i = 1, 2$ 를 만족한다면

$$f_i^2(t) \leq 1 - \dot{T}_i, i = 1, 2 \quad (14)$$

이고, $\xi_i(\alpha) \geq 0, \alpha \geq 0, i = 1, 2$ 를 식 (12)에 대입하면

$$\int_0^t (\dot{x}_m F_m^* - \dot{x}_s^* F_s) d\tau \geq 0 \text{라고 할 수 있다.}$$

식 (2)로부터 시스템이 수동성을 유지함을 볼 수 있다. 또한 $f_i(t) = 1$ 로 놓으면 시불변 지연 시스템으로 복귀할 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 1자유도를 가지는 시스템을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 마스터-슬레이브 모델의 운동방정식은 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned}
 M_m \ddot{x}_m + B_m \dot{x}_m &= F_h - F_m^* \\
 M_s \ddot{x}_s + B_s \dot{x}_s &= F_s - F_e \quad (15)
 \end{aligned}$$

여기서 F_h 는 조작자가 가하는 토크이고, F_e 는 매니플레이터의 토크이다. M_m 과 M_s 는 각각 마스터와 슬레이브의 관성이다.

전향진행과 귀환진행시 각각 0.1sec/sec의 비율로 일정하게 지연시간이 증가하는 시간지연 모델을 설계하였다. 시뮬레이션 상으로 종조작기에 매니플레이터가 없으며 종조작기와 주조작기는 무중력 상태에서 동작한

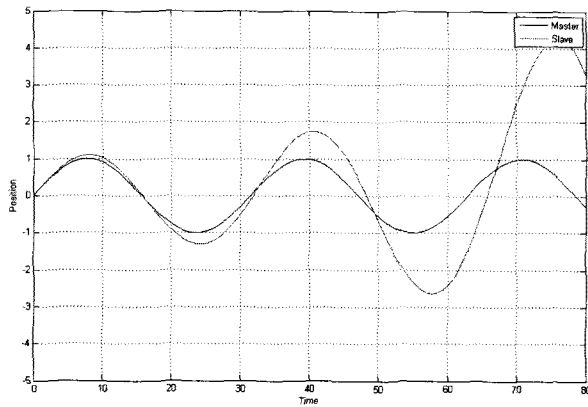


그림 5. 기존 수동성 제어를 이용한 마스터-슬레이브 시스템 위치 추적 성능

Fig. 5. Position tracking performance of master and slave for system designed for constant delay case.

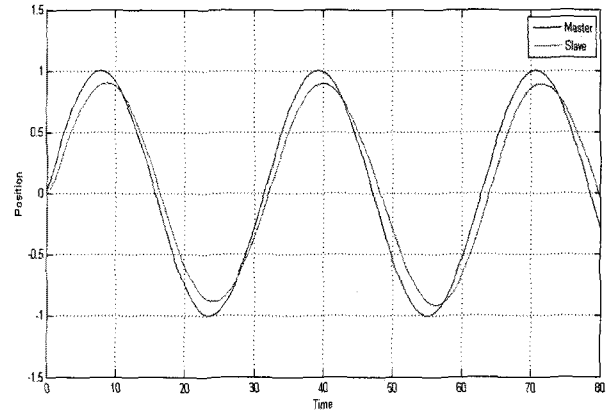


그림 8. 그림 7의 시간지연을 가지는 시스템의 위치추적 성능

Fig. 8. Position tracking performance of master and slave with proposed architecture for varying time delay.

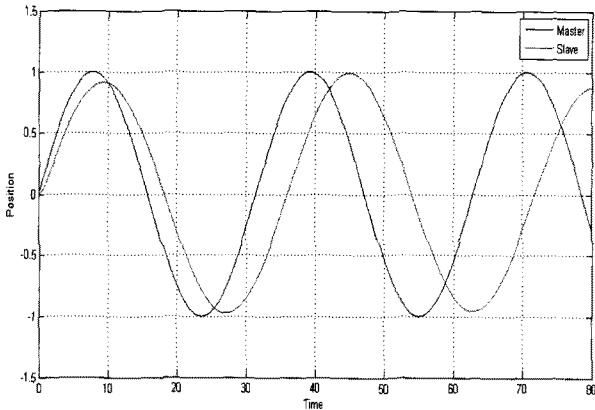


그림 6. 제안한 시스템을 이용한 위치추적 성능(시간지연 상승률 0.1sec/sec)

Fig. 6. Position tracking performance of master and slave with proposed architecture of time delay increasing at a constant rate of 0.1 sec/sec.

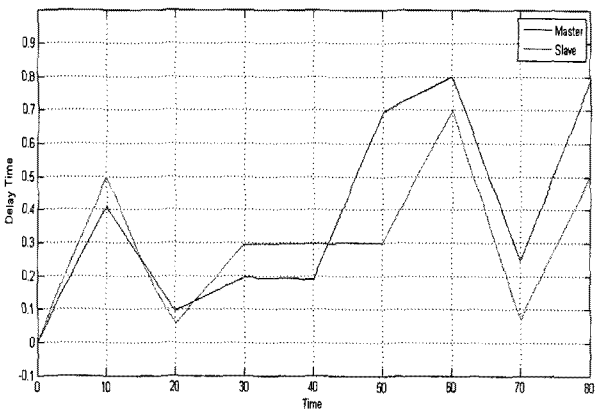


그림 7. 시간지연변화

Fig. 7. The varying time delay.

다고 가정하였다. 그림 5는 기존의 방법을 적용하여 결과를 나타낸 것으로 시스템이 불안정함을 볼 수 있다.

시간지연이득 f_i 를 추가하여 시스템을 안정화시키기 위해서는 식 (14)를 만족해야 하기 때문에 $f_i^2(t) \leq 1 - \dot{T}_i = 0.9$ 이다. 따라서 $f_i(t) = 0.9, i = 1, 2$ 를 적용하여 그림 6과 같이 시변지연시스템이 안정해진 것을 볼 수 있다.

그림 7과 같은 시변지연을 가지는 시스템의 성능을 그림 8에 나타내었다.

VI. 결론

본 논문에서는 시변시간지연을 가지는 양방향 원격 제어 시스템이 수동성을 유지할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 주조작기와 종조작기 사이의 통신 블록 양단에 2개의 시변이득을 추가하여 에너지를 소비함으로써 수동성을 보장하였다. 시물레이션 결과기술 연구로서 향후 시간지연이 급작스럽게 변하는 최악의 상황에서도 일정한 이득변수를 사용하여 수동성을 보장할 수 있는 방안에 대해 다룰 것이며 시변지연으로 인한 속도와 힘의 값이 변화하여 발생하는 추적성능 저하를 방지할 수 있는 알고리즘을 설계하고자 한다.

참고 문헌

[1] 이희성, 김은태, “외향 기반 환경 인식을 사용한

이동 로봇의 위치인식 알고리즘,” 전자공학회논문지, 제41권 CI편, 제 6호, 47-53쪽, 2004년 11월

[2] Hugh Durrant-Whyte, Tim Bailey, “Simultaneous Localization and Mapping: Part 1,” *IEEE Robotics and Automation Magazine*, pp 99-108, June 2006.

[3] 구자일, 홍준표, 이원석, “동기 구동형 이동로봇의 자율주행을 위한 위치추정과 경로계획에 관한 연구,” 전자공학회논문지, 제43권 IE편, 제 1호, 59-66쪽, 2006년 3월

[4] J. Crowley, “World modeling and position estimation for a mobile robot using ultra-sonic ranging,” *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat.*, 1989, pp. 674-681, AZ, USA, May 1989.

[5] Andreas Nuchater, Hartmut Surmann, and Sebastial Thrun, “6D SLAM with Application in Autonomuous Mine Mapping,” *Proc. IEEE 2004 Int. conf. Robo. Automat.*, New Orleans, USA, April 2004.

[6] Stephen Se, David Lowe, Jim Little, “Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant visual Landmarks,” *The Int. Journal on Robotics Research*, Vol. 21, No. 8, pp. 735-758, August 2002.

[7] Andrew J. Davison, Ian D. Reid, Nicholas D. Molton and Olivier Stasse, “MonoSLAM: Real-Time Single Camera SLAM,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 29, No. 6, pp. 1052-1067, June 2007.

[8] David G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” *International Journals of Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110, November 2004.

[9] J. Diebel, K. Reutersward, S. Thrun, J. Davis, G. Gupta, “Simultaneous Localization and Mapping with Active Stereo Vision,” *Proc. of 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3436-3443, Sendai, Japan, september 2004.

[10] 진태석, 이장명, “단일 초음파 센서모듈을 이용한 이동로봇의 위치추정 및 주행,” 전자공학회논문지, 제42권 SC편, 제 2호, 1-10쪽, 2005년 3월

[11] Gordon Chung, Alexander Zelinsky, “Real-Time Visual Behaviours for Navigating a Mobile Robot,” *Proc. IROS 96*, pp 973-980, Osaka, Japan, November 1996.

[12] S. Thrun, “Probabilistic algorithms in robotics,” *Technical Report CMU-CS-00-126*, Carnegie Mellon Univ., Computer Science Department,

Pittsburgh, PA, 2000.

[13] Greg Welch, Gray Bishop, “An Introduction to the Kalman Filter,” SIGGRAPH, 2001.

[14] R. G. Brown, “Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering,” *Wiley Press*.

저자 소개



고 영(학생회원)
2004년 난징대학교 수확응용과
학사 졸업.
2008년 현재 전북대학교 전자정보
공학부 석사과정
<주관심분야 : 제어이론 및 시스
템, 최적제어, 원격제어>



유 성 구(정회원)
2003년 전북대학교 제어계측
공학과 학사졸업.
2005년 전북대학교 제어계측
공학과 석사졸업.
2008년 현재 전북대학교
제어계측공학과 박사과정
<주관심분야 : Robotics, 인공지능, 제어시스템>



정 길 도(정회원)
1984년 Oregon State University
기계공학 학사졸업.
1986년 Georgia Institute of
Technology 기계공학
석사졸업.
1992년 Texas A&M University
기계공학 박사 졸업.

2008년 현재 전북대학교 전자정보 교수
<주관심분야 : Time-Delay, Robotics, 인공지능,
Web 기술>