신경회로망과 영상처리 및 CAN 통신기반의 동적 자세제어에 관한 연구

김관형^{1*} · 권오현¹ · 신동석¹ · 변기식²

The Study on Dynamic Position Control base on Neural Networks, Image Processing and CAN Communication

Gwan-Hyung Kim^{1*} · Oh-Hyun Kwon¹ · Dong-Suk Sin¹ · Gi-Sik Byun²

¹Department of Computer Engineering, Tongmyong University, Pusan, 608-711, Korea

²Department of Control & Instrumentation, Pukyong National University, Pusan, 608-737, Korea

요 약

동적인 자세제어에 대한 응용은 다양한 외란이 존재하는 비선형 플랜트에 발생한 외란을 제거하기 위한 모든 분야에 적용할 수 있다. 또한, 발생한 외란을 어떻게 계측하는가에 따라 제어 성능이 달라질 수 있다. 본 논문의 시스템의 구성은 CAN 통신을 기반으로 3개의 리니어 액추에이터(Linear Actuator)를 동적으로 제어하도록 하였으며, 플랜트의 외란은 수평 플랜트 위에 볼(ball)을 놓아 비선형적인 외란을 가하도록 하였다. 외란에 대한 계측은 영상처리(Image Processing)를 통하여 외란을 계측하여 플랜트를 제어하도록 하였다. 이러한 비선형적인 외란을 제거하기 위하여 본 논문에서는 비선형 시스템에 대하여 제어성능이 뛰어난 신경회로망(Neural Networks)을 활용하여 기존의 PI 제어를 보완하여 하여 더욱 강인한 제어성능을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

Applications of dynamic position control are especially focused on cancellation of unknown disturbance against nonlinear dynamic plants. Control performance is technically dependent upon observation methodology of such disturbance signals. This paper presents a novel control strategy by using linear actuators based on CAN communication networks. Disturbance is measured from placing a ball on a flat plant and image processing technique is applied to observe dynamic position of a ball system. We devise a neural network based PI control system to realize robust control of the dynamic system.

키워드 : 영상처리, CAN, 리니어 액추에이터, 신경회로망

Key word : Image Processing, CAN, Linear Actuator, Neural Networks

접수일자 : 2013. 10. 01 심사완료일자 : 2013. 10. 25 게재확정일자 : 2013. 11. 06

* **Corresponding Author** Gwan-Hyung Kim(E-mail:taichiboy1@gmail.com, Tel:+82-051-629-1182)

Department of Computer Engineering, Tongmyong University, Pusan, 608-711, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.11.2499>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

산업이 발전함에 따라 제어 대상이 더욱 복잡해짐에 따라 복수개의 프로세서를 네트워크(networks)로 연결하여 주어진 제어 목표에 달성하기 위하여 노력하고 있다. 그러나 시스템이 복잡해지고 네트워크로 연결되기 때문에 제어 시스템에 있어서 시간 지연(time delay) 요소가 존재하게 된다. 시간 지연 요소를 감안하여 제어를 설계하여도 복잡한 시스템에 존재하는 비선형적인(non-linear) 요소가 존재하기 때문에 수평자세제어와 같은 비선형적인 요소가 강한 플랜트를 제어하기에는 기존의 PID 제어 방법으로는 분명 한계가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 기존의 제어기에 강인성(robust)과 적응성(adaptive)을 추가하는 제어기 설계 방법에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[1].

제어기 설계에 있어서 강인성과 적응성을 부여하기 위하여 최근에는 신경회로망(neural networks)의 학습능력을 활용하여 비선형성이 강한 플랜트의 제어에 많은 효과를 보고 있다. 또한 복수개의 프로세서에 대한 통신망을 구성함에 있어서 빠른 응답성과 높은 신뢰성을 가지고 있는 CAN(Controller Area Network)을 활용하여 프로세서간의 통신을 보다 안정적으로 구성하여 다양한 제어 분야에 활용하고 있다[2].

최근에는 플랜트의 상태를 모니터링하기 위하여 영상처리(image processing)기법을 도입하여 동적인 시스템(dynamic system)에 대한 관측기(observer)로 활용하여 시스템의 성능을 향상시키고 있다.

본 논문에서는 동적인 수평자세제어를 위하여 CAN 통신망과 동적인 수평자세제어를 위한 3개의 리니어 액추에이터(linear actuator)를 제어하도록 하였다. 플랜트의 외란은 수평 플랜트 위의 볼(ball)을 두었으며, 외란에 대한 관측은 키넥트센서(kinect sensor)를 두어 영상처리 기반으로 계속하였다. 시스템의 제어는 강화학습 기반의 신경회로망과 PI 제어를 통하여 동적인 수평자세 제어시스템을 제어하도록 설계하였다.

II. 본 론

2.1. 시스템의 구성

본 논문에 대한 전체적인 시스템의 구성은 그림 1과

같다.

그림 1. 전체 시스템의 구성도
Fig. 1 Structure of entire system

외란 분석은 키넥트센서를 이용하여 볼에 대한 위치를 실시간으로 파악하도록 하였으며, 영상 분석에 사용된 라이브러리는 OpenCV, Kinect SDK를 이용하여 볼에 발생한 외란을 계속하도록 하였다. 플랜트의 상태를 관찰하기 위하여 자이로센서(gyro sensor)를 추가하여 플랜트 상태를 관찰하도록 하였다[3].

메인 제어기는 PC를 기반으로 제어를 구성하였으며, 사용한 제어알고리즘은 기존의 PI 제어기와 신경회로망을 병렬로 구성하여 발생한 외란을 제거하도록 하였다.

메인 제어기와 제어 플랜트와의 통신은 시리얼통신(RS-232C)을 거쳐 마스터(master) CAN 통신 모듈과 3개의 슬레이브(slave) CAN 통신 모듈을 이용하여 각각의 리니어 액추에이터를 제어하도록 하였다. 키넥트센서를 통한 외란 관측값을 PC로 귀환(feedback)하여 폐루프제어시스템(closed-loop control system)을 형성하도록 전체 시스템을 구성하였다.

그림 2. 지능제어기의 구성도
Fig. 2 The structure of intelligent controller

III. 시스템 구현 및 테스트

3.1. 신경회로망의 구성

신경회로망의 학습방법 중 하나인 강화학습(reinforcement learning)은 기계학습(machine learning)에 많이 활용되는 학습방법으로 제어 목적을 달성하기 위하여 주어진 플랜트의 상태를 탐색하고, 주어진 현재의 상태에 대한 제어 동작이 이루어진다. 이때 행해지는 제어 동작에 대한 평가를 통하여 보상(reward)을 받게 된다. 이러한 보상을 누적하여 주어진 제어 목적을 달성하는 학습방법이 강화학습이다. 강화학습에 대한 활용은 게임 또는 로봇 제어와 같은 기계학습 분야에 활용하고 있으며 강화학습의 핵심은 시간의 변화에 따라 시스템의 상태나 환경이 변화 할 때 변화된 환경과 시스템의 상태에 따라 빠르게 적응할 수 있는 것이 강화 학습의 가장 큰 핵심이다[4-6].

본 논문에서는 강화학습을 활용하여 기존의 제어기에 적응성을 부여하고, 제어기 설계 파라메타에 최적의 제어 파라메타 값을 결정하기 어려운 제어기에 대하여 보다 최적의 보상량을 결정하기 위하여 주 제어기에 대한 보조 제어기로 활용하여 제어기의 성능을 향상시키고자 한다. 이러한 제어 시스템의 구성은 지속적인 강화학습을 통하여 플랜트에 발생할 수 있는 미지의 외란을 보다 능동적으로 제거할 수 있는 강인한 제어시스템을 구현하고자 한다.

특히, 동적인 수평자세제어와 같은 비선형성인 높은 시스템에 대하여 기존의 제어기로 해결할 수 없었던 복잡한 문제를 인공지능 기법인 강화학습 알고리즘을 통하여 기존의 제어기의 부족한 제어 성능을 개선하는데 있다.

3.2. CAN 시스템 구성

CAN 통신의 시작은 자동차 내부의 서로 다른 전자장치를 통합하기 위하여 다중통신(multi master communication)을 지원할 수 있는 통신 장치를 개발하기 위해 개발되었다. 본 논문에 사용한 마이크로프로세서는 CAN 통신을 지원하는 ATMEL(사)의 AT90CAN128을 사용하였다.

마스트 CAN 모듈과 PC와의 연결은 115200[bps]의 RS-232C 통신과 슬레이브 CAN 모듈과의 통신은 Microchip 사의 MCP2551 칩을 사용하여 CAN 통신망

을 하드웨어 적으로 구성하였다. 본 논문의 실험에 사용한 회로를 그림 3에 제시하였다.

그림 3. AT90CAN128과 CAN 기반의 리니어 액추에이터 제어기 회로
Fig. 3 The circuit of AT90CAN128 and CAN-based linear actuator controller

송신 노드(node)에서 x, y 축 상의 편차에 대한 2바이트 데이터를 MOb 구조체에 해당하는 8바이트를 통하여 CAN 버스로 송신하고 수신되는 노드에서는 송신 노드의 식별자(ID)와 수신된 데이터를 분석하여 리니어 액추에이터를 제어하도록 시스템을 구현하였으며, 구현된 모듈의 연결을 그림 4에 제시하였다.

그림 4. CAN을 이용한 통신모듈 연결
Fig. 4 Connect with CAN communication module

3.3. 리니어 액추에이터 구성

리니어 액추에이터의 구성은 아래의 그림 5와 같이 구성하였으며, 3개의 리니어 액추에이터를 120도의 각을 두어 배치하여 각각의 상하 움직임에 대하여 플랫폼의 자세를 제어하도록 설계하였다.

그림 5. 리니어 액추에이터 플랫폼
Fig. 5 Linear actuator platform

3.4. 키넥트 영상처리 구성

키넥트센서는 RGB 값에 대한 영상정보와 대상체의 깊이(depth)를 측정할 수 있는 센서로 PC 기반으로 다양한 플랫폼에 연결하여 로봇이나 기타 영상처리분야에 활용하고 있다. 키넥트센서를 이용한 프로그램 개발 환경은 Microsoft Visual Studio 2010 기반으로 하였으며, 구현한 디지털 영상처리 절차 및 볼 인식 테스트 영상을 제시하였다. 영상의 크기는 320×240, 60[fps] 크기의 칼라영상(color image)을 사용하였다.

영상획득은 Microsoft Kinect SDK를 사용하였으며, 영상처리 부분은 OpenCV 라이브러리를 사용하여 볼의 위치 변화에 대한 추적을 실시간으로 확인할 수 있도록 구현하였다. 영상처리의 기준 좌표는 그림 6과 같이 영상의 중앙선을 기준으로 움직이는 볼에 대한 편차(dx , dy)로 계산하여 제어기의 입력으로 사용하였다 [7-13].

그림 6. 볼의 위치 인식
Fig. 6 Recognition of ball position

그림 7은 키넥트센서와 리니어 액추에이터를 이용한 수평 플랜트에 대한 사진을 제시하였다. 키넥트센서의

높이는 공의 크기를 고려하여 1.2[m] 로 하여 영상을 획득하도록 하였다. 이렇게 측정한 영상을 그림 6에서 제시하였다.

그림 7. 키넥트센서 및 수평 플랜트 구성
Fig. 7 Configuration of kinect sensor and horizontal plant

IV. 실험 및 고찰

그림 8은 본 논문에 실험에 사용된 전체 시스템을 제시하였다.

그림 8. 실험 플랜트 구성
Fig. 8 Configuration of experimental plant

노트북 PC를 통하여 키넥트센서의 영상을 분석하여 공의 움직임에 대한 편차를 2축에 대한 정보로 (dx , dy)를 계산하였으며, 계산된 편차인 (dx , dy)를 다시 120도로 나누어진 3개의 리니어 액추에이터가 동작해야할 제어량으로 나누어 3개의 리니어 액추에이터가 동시에 동작하도록 다중통신 방식의 CAN 통신을 이용하여 제어하였다. 이 때 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 계

산된 편차 (dx , dy)의 크기에 따라 신경회로망의 추가적인 보상을 강화학습을 통하여 시스템의 성능을 조금씩 향상해 나가도록 하였다.

슬레이브 리니어 액추에이터의 제어 입력은 리니어 액추에이터의 속도에 해당하는 PWM 입력과 상하 운동을 지시하는 Phase 입력 및 대기 상태(sleep state)에 대한 입력으로 3개의 입력 신호를 사용하여 각각의 리니어 액추에이터를 제어하도록 하였다.

3개의 리니어 액추에이터의 기준위치는 24[mm]의 중간인 1.2[mm]를 초기 기준 위치로 두어 각각의 상하 위치에 대한 아날로그(analog) 값을 AT90CAN128의 ADC(1.23~4.8[V]) 값을 계측하여 PWM, Phase 값을 제어하여 원하는 위치로 제어될 수 있도록 하였다. 보다 제어성능을 향상시키기 위하여 PWM 값을 조절하여 원하는 속도로 움직일 수 있도록 가감속 제어도 수행하도록 하였다.

그림 9는 실험 결과에 대한 파형으로 순간적인 편차 (dx , dy)가 발생하였을 때 제어가 공의 위치를 제어해 나가는 것을 시간 도메인으로 계측된 파형을 제하였다.

그림 9. 볼 위치 변화에 대한 실시간 추적
Fig. 9 Real-time tracking of ball position

V. 결 론

본 논문은 강인한 수평자세제어를 위하여 기존의 PI 제어기에 병렬로 신경회로망의 강화학습 알고리즘을 통하여 발생한 외란에 대하여 보다 능동적으로 제어성능을 개선하도록 실험을 통하여 구현해 보았다.

그러나, 본 논문의 실험에 사용된 소형 리니어 액추에이터의 응답 특성이 기대했던 것 보다 좋지 못하여 원하는 성능까지 완벽하게 구현하지는 못한 아쉬움이

있었다. 그러나 본 연구를 통하여 CAN 통신을 기반으로 여러 개의 마이크로프로세서를 동시에 제어할 수 있는 분산제어 성능을 확인하였다. 뿐만 아니라 수평플랜트 위에 움직이는 물체를 실시간으로 물체를 추적할 수 있는 키넥트센서 기반의 영상처리 알고리즘을 구현하였다.

향후 연구과제로는 고성능의 리니어 액추에이터를 통하여 시스템의 성능을 향상시키고자 하며, 보다 적응성 있는 강화학습을 통하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 연구해 나가고자 한다.

REFERENCES

- [1] G. C. Choe, J. M. Sung, B. S. Kim, "Adaptive Control Design for Missile using Neural Networks Augmentation of Existing Controller," *Journal of institute of control robotics and systems*, vol. 14 no. 12, pp. 1218-1225, 2008.
- [2] W. P. Hong, G. U. Jung, "CAN Based Networked Intelligent Multi-Motor Control System Using DSP2812 Microprocessor," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 19, no. 8, pp. 109-115, 2005.
- [3] S. Y. Cho, H. R. Byun, H. K. Lee, J. H. Cha, "Hand Gesture Recognition from Kinect Sensor Data," *Journal of broadcast engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 447-458, 2012.
- [4] H. C. Sin, Y. Sim, S. R. Kim, U. J. Sun, H. Z. Min, Y. H. Hong, P. G. Lee, "Performance Improvement of Eye Tracking System using Reinforcement Learning," *The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 13, no. 2, pp. 171-179, 2013.
- [5] Satoshi, Yamaguchi, Hidekiyo, Itakura, "Neural Network Learning for a Manipulator Inverse Kinematics Problem Using a Forward Model," *International Conference On Neural Information Processing*, vol. 3, no. 2, pp. 1181-1186, 1994.
- [6] Sahin Yıldırım, İkhla Eski, "A QP Artificial Neural Network Inverse Kinematic Solution for Accurate Robot Path Control," *JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 20, no. 7, pp. 917-928, 2006.
- [7] D. G. Jung, D. G. Gang, and U. G. Na, "A Real-Time Head Tracking Algorithm Using Mean-Shift Color Convergence and Shape Based Refinement," *Journal of semiconductor technology and science*, vol. 42, no. 6, pp. 1-8, 2005.

- [8] Y. S. Jo, J. S. Lee, "A Study on Tracking Algorithm for Moving Object Using Partial Boundary Line Information," *Korea Information Processing Society*, vol. 8-b, no. 5, pp. 539-548, 2001.
- [9] Y. S. Jo, J. S. Lee, "A Study on Effective Moving Object Segmentation and Fast Tracking Algorithm," *Korea Information Processing Society*, vol. 9-b, no. 3, pp. 359-368, 2002.
- [10] D.Comaniciu, V.Ramesh, P.Meer, "Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 142-149, 2000.
- [11] D. G. Kim, OpenCV programming, Kame, 2011.
- [12] H. Y. Han, "Introduction to Pattern Recognition", Hanbit Media, 2009.
- [13] Y. R. Kim, U. E. Kim, J. S. Jang, and S. H. Bak, "Mobile Robot Control using Hand Shape Recognition", *Journal of semiconductor technology and science*, vol. 45, no. 4, pp. 34-40, 2008.

김관형(Gwan-Hyung Kim)

2001년 한국해양대학교 전자통신공학과 공학박사
 2000년~2011년 동명대학교 컴퓨터공학과 전임교수
 2011년~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수
 ※관심분야 : 최적제어, 인공지능, 임베디드시스템 설계, 신호처리, 영상처리

권오현(Oh-Hyun Kwon)

1989년 중앙대 전산학과 이학박사
 1975~2000년 해군 전산개발분야 근무
 2001~현재동명대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※관심분야 : 시스템소프트웨어, 객체지향 시스템, CBD

신동석(Dong-Suk Shin)

1996년 부경대학교 전자공학과(공학박사)
 1992년~2006년 동명대학교 컴퓨터정보처리과 부교수
 2006년~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※관심분야 : 유비쿼터스, 임베디드 시스템, RFID

변기식(Gi-Sik Byun)

1990년 Wichita State University 전기공학과 공학박사
 1990년~현재 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수
 ※관심분야 : 신호처리, 임베디드시스템 설계, 디지털제어, 센서네트워크