

# 서보 모터 제어기의 HIL 시뮬레이션을 위한 엔코더 신호 생성 장치

## Development of encoder signal generator for HIL simulation of servo motor controller

\*이원균<sup>1</sup>, 장세록<sup>1</sup>, 이경수<sup>1</sup>, #민병권<sup>1</sup>, 이상조<sup>1</sup>

\*W. Lee<sup>1</sup>, S. Jang<sup>1</sup>, K. S. Lee<sup>1</sup>, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr)<sup>1</sup>, S. J. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 기계공학과

Key words : CNC simulation, Feed drive model, Hardware-in-the-loop simulation

### 1. 서론

Hardware-in-the-loop simulation (HILS)은 복잡한 시스템의 시뮬레이션에서 모델링이 어려운 부분을 실제 시스템으로 대체하는 시뮬레이션 기법이다. 일반적으로 비행체, 자동차 등의 시뮬레이션을 통해 제어 시스템의 성능을 테스트하기 위해 적용되며, 공장기계의 시뮬레이션에도 적용된다.<sup>1,2</sup>

공장기계 제어기의 HILS는 일반적으로 실제 CNC 제어기, 서보 모터모델의 실시간 시뮬레이션과 엔코더 신호의 생성 및 피드백을 위한 실시간 컴퓨터로 구성된다. 공장기계 서보 모터의 위치는 엔코더를 이용하여 측정하게 되는데, 고 분해능의 엔코더가 적용된 정밀 공장기계의 경우 수 MHz의 고주파 엔코더 신호가 생성된다. 그러나 시뮬레이션 모델은 이보다 낮은 샘플링 주파수에서 구동되므로 피드백 신호의 생성을 위한 고속의 신호발생 장치가 필요하다. 이 문제를 해결하기 위해 Montazeri-Gh et al과 Linjama et al은 Fig. 1과 같이 multi-rate 시스템을 구성하여 서보 모터의 속도를 고주파 엔코더 신호로 변환하는 방법을 제안하였다.<sup>3,4</sup> 그러나 속도를 전압으로 변환하는 과정에서 Fig. 2와 같이 샘플링과 양자화에 의한 오차가 발생한다. 이 오차는 누적되어 시뮬레이션 모델이 계산한 위치와 CNC 제어기가 엔코더 신호로 입력받은 위치 사이의 오차를 발생시킨다.<sup>4</sup>

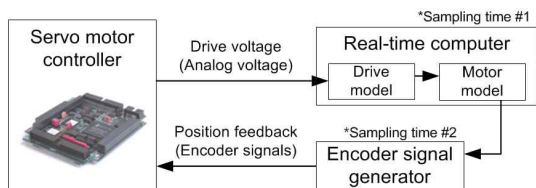


Fig. 1 Hardware-in-the-loop simulation of servo motor

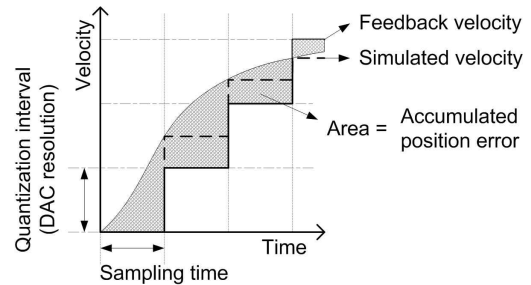


Fig. 2 Transmission error in encoder signal generation

본 연구에서는 마이크로컨트롤러를 이용하여 서보 모터 모델의 위치정보로부터 엔코더 신호를 생성하는 장치를 개발함으로써 이러한 문제를 해결하여 시뮬레이션의 정확도를 향상시켰다.

### 2. 엔코더 신호 생성 알고리즘

Fig. 3은 본 연구에서 제안한 서보 모터의 위치 기반 엔코더 신호 생성 알고리즘과 생성된 엔코더 신호이다. 마이크로컨트롤러는 실시간 컴퓨터에서 전송된 서보 모터의 위치 증분 정보로부터 일정 시간 간격으로 쿼드러처 엔코더 신호를 생성한다. 연산에 소요되는 시간은 약 15 μs이고, 생성되는 엔코더 신호의 최대 주파수는 6.4MHz 이다.

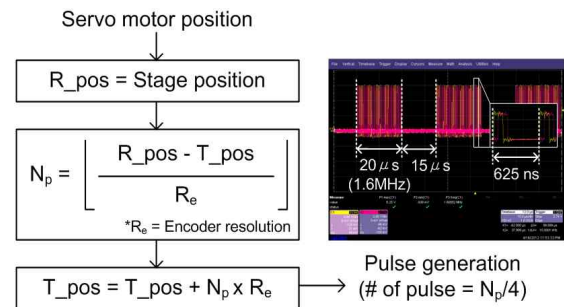


Fig. 3 Position based encoder signal generator

### 3. 서보 모터의 HIL 시뮬레이션

서보 모터의 HIL을 위한 장치 구성은 Fig. 4와 같다. 서보 모터 모델은 DSP (ds1103, dSPACE)로 10KHz의 샘플링 주파수로 구동되며, 엔코더 신호 발생을 위한 마이크로컨트롤러 보드 (Arduino Duemilanove)의 샘플링 주파수는 이를 고려하여 20KHz로 설정하였다. 서보 모터의 위치 정보는 8bit 병렬 신호로 마이크로컨트롤러로 전송되어 0.1  $\mu\text{m}$  분해능의 엔코더 신호로 변환된 후 CNC 제어기 (UMAC, Delta Tau)로 피드백된다.

Fig. 5는 제안한 방법과 기존의 속도 기반 엔코더 신호 생성 방법에서 발생하는 전송오차의 비교 결과이다. 양자화 간격과 샘플링 주파수는 HIL 구성과 동일하게 설정하였고, 스텝 입력에 대한 위치와 전송오차를 비교하였다. 제안된 방법의 전송 오차는  $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 로, 양자화로 인해 엔코더 분해능에 해당하는 오차가 발생하였다. 기존의 방법의 전송 오차는 1.2  $\mu\text{m}$ 로, 가속 구간에서 오차가 누적

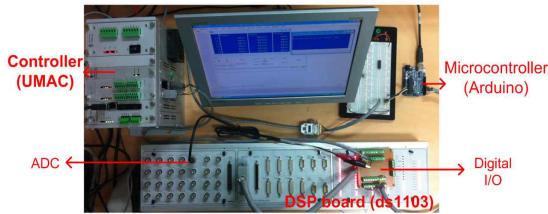


Fig. 4 Hardware-in-the-loop simulation platform

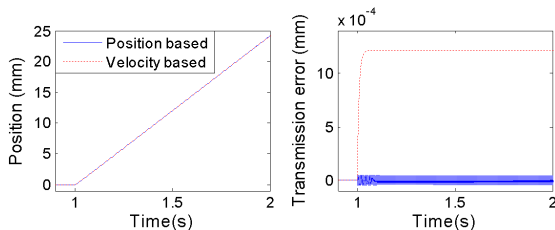


Fig. 5 Position profile and transmission error in position and velocity based encoder signal generator

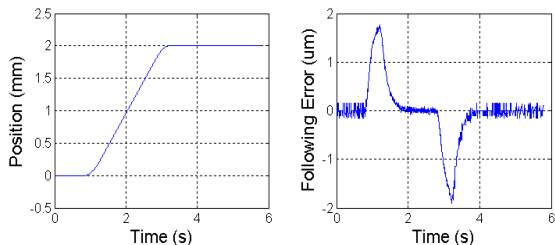


Fig. 6 Hardware-in-the-loop simulation of servo motor controller using proposed encoder signal generator

되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 제작된 엔코더 신호 생성기를 CNC의 HIL에 적용하여 서보 모터의 구동 시에 발생하는 추종오차를 시뮬레이션 한 결과이다.

### 4. 결론

본 연구에서는 서보모터를 포함하는 HIL 구성에서 위치 피드백 장치의 신호발생과정에서 생기는 오차를 최소화하기 위한 방법으로 실시간 모델에서 위치신호의 증분 값으로부터 엔코더 신호를 발생시키는 장치를 제안하였고, 실제 multi-rate HIL 시뮬레이션에 적용하여 속도신호를 이용한 경우보다 오차가 감소함을 보였다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발 사업의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고문헌

1. Altintas, Y., Verl, A., Brecher, C., Uriarte, L. and Pritschow, G., "Machine tool feed drives," CIRP Annals - Manufacturing Technology, 60, 779-796, 2011.
2. Pritschow, G. and Rock, S., "Hardware in the Loop Simulation of Machine Tools," CIRP Annals-Manufacturing Technology, 53, 295-298, 2004.
3. Montazeri-Gh, M., Nasiri, M. and Jafari, S., "Real-time multi-rate HIL simulation platform for evaluation of a jet engine fuel controller," Simulation Modelling Practice and Theory, 19, 996-1006, 2011.
4. Linjama, M., Virvalo, T., Gustafsson, J., Lintula, J., Aaltonen, V. and Kivikoski, M., "Hardware-in-the-loop environment for servo system controller design, tuning and testing," Microprocessors and Microsystems, 24, 13-21, 2000.