

Non-Causal Filter 의 PC-NC 에의 응용

장현상*, 최종률(현대정공(주))

ABSTRACT

In real time application such as motion control, it is hard to find the application of non-causal filtering due to its need for future position data, even though it shows wide usage in off-line digital signal processing. Recently, some of motion control areas such as learning and repetitive control use non-causal filtering technique in their application. These kinds of zero-lag non-causal filter application are very useful not only to reduce the machine vibration, but also to increase control accuracy with comparatively less work. In this paper, genuine method to implement zero-lag non-causal filter in a CNC is introduced. Also the variation of this implementation for the learning operation is suggested to give the NC better control performance for a specific job. By adopting the new NC architecture called Soft-NC, all these implementations are made possible here, and especially large memory requirement which hinders their usage for many years is no longer barrier in their real world application.

Key Words: non-causal filter, machine tool, open architecture, Soft-NC, learning control

1. 서론

70년대 이후 다양한 근대 제어 이론이 소개되고 발전되어 왔음에도 아직까지 공작기계에는 고전적인 PID 제어가 그 주류를 이루고 있다. 그러나 고정도 및 고속 가공이 강조되는 현시장의 추세로 대부분의 control vendor는 차츰 진보된 제어 개념 및 다양한 filtering 기능을 갖춘 NC를 시장에 내놓고 있는 추세이다. 그 중에서도 공작기계 servo 계의 최적화와 기계의 진동 문제를 해결하기 위한 방법으로 다양한 종류의 filter들이 제공되는데, 현장에서 이들의 응용은 그 운용 시 수반되는 phase 왜곡 특성으로 그리 활발하지 못한 편이다.

따라서 본 논문에서는 phase 왜곡 현상이 없어 그 운용이 보다 간편한 zero-lag non-causal filter를 공작기계의 운동 제어에 응용하는 방법론을 소개하고자 한다. 여기서 소개된 zero-lag non-causal filter는 이미 off-line digital signal processing에는 광범하게 사용되어 왔으나 filter의 non-causality 특성상 motion control과 같은 real-time application에서는 여태껏 그 응용 분야를 찾기가 힘들었다. 그러나 최근의 learning 및 repetitive control의 경우 그 응용 분야의 특성상 이들 non-causal filter의 응용이 자주 다뤄진 바, 본 논문에서는 non-causal filter의 NC에의 적용 방

법과 이 방법에 기초한 learning control의 NC 적용 방법을 고안 하였다. 여기서 고안된 방법들은 현재 개발 중인 개방형 NC에 적용되어 시험 중이다. 이 새로운 개방형 NC를 개발하는데 있어 Soft-NC라고 분류되는 NC architecture를 적용함으로써, 그동안 non-causal data의 필요성과 상대적으로 많은 메모리 요구로 그 현장 응용이 미비했던 기술들의 실제 응용이 가능하게 되었다.

2. Non-causal filter의 응용을 고려한 Soft-NC 설계

근래 PC를 기반으로 한 개방형 NC는 빠르게 발전하는 PC 산업계의 기술 추세에 힘입어 보다 값싸고 유연한 NC의 탄생을 가능케 하고 있다. 이미 많은 control vendor들이 이러한 개방형 NC를 시장에 내놓고 있는데, 가장 일반적인 형태는 Embedded Motion Controller(EMC)를 이용한 형태이다. 새로운 NC를 제작에 있어 이와 같이 이미 상용화된 EMC를 사용하면 편리하나, 이 경우도 말단 사용자의 경우, EMC vendor가 제공하는 개발 환경에 제약을 받게 되고 가격적인 측면에서도 기존의 폐쇄형 구조에 비하여 그리 큰 이점을 찾기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 보다 저가격의 보다 유연한 개발 환경 제공을 목표로 개방형 NC의 한 종류인 Soft-NC를

개발 중인 NC architecture 의 근간으로 삼았다. 여기서 Soft-NC 라함은 Fig.1 에서 보여주듯이 NC 를 구성하는 부분들 즉 MMI(Man-Machine Interface), PLC, EMC 부분을 모두 real-time multi-tasking OS 환경하에서 software 적으로 처리한 NC 를 일컫는다.

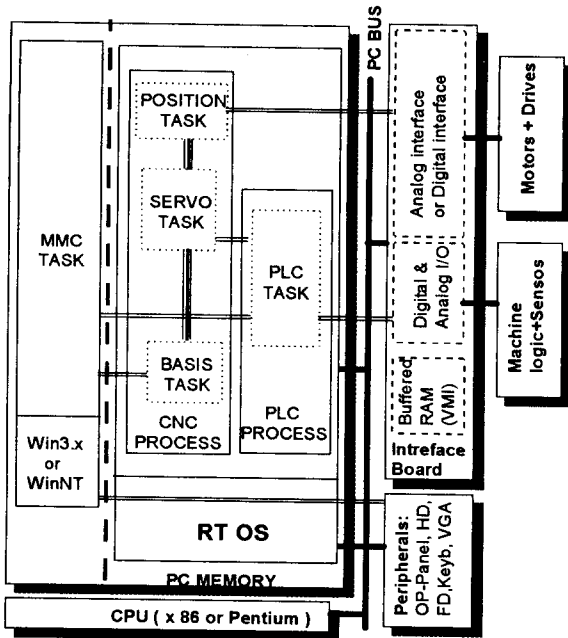


Fig. 1 Soft-NC architecture

이러한 개발 방법은 상대적으로 고비용과 높은 위험 부담을 가지고 있지만, 다른 어떠한 방법론보다도 유연한 개발 환경과 최저가의 solution 을 제공한다든 점에 그 매력이 있다. 본 논문에서 다루지는 non-causal filter 의 응용도 이러한 Soft-NC 가 제공하는 유연한 개발 환경을 최대한 활용한 결과이다. NC 의 운동 제어 부분에 non-causal filter 를 응용하기 위하여 NC architecture 는 다음과 같은 조건을 만족 시켜야 한다. 우선 interpolation 을 담당하는 부분과 운동 제어를 담당하는 부분이 분리되어 있어, 그 사이에 일정량의 command position 을 저장할 수 있는 buffer 가 마련되어야 한다. 따라서 현재 개발 중인 개방형 NC 의 경우 interpolation 을 담당하는 부분(Servo task)과 position control 을 담당하는 부분

(Position task)을 real-time OS 환경하에서 독립된 thread(task)로 설계하였다. 이러한 servo task 와 position task 의 독립 설계는 Fig.2 의 ②에서 보여주듯이 non-causal filtering 의 응용을 가능케 하는데, 이 경우 interpolation 을 담당하는 servo task 는 position task 가 운동 제어를 시작하기 전 filtering 에 필요한 일정량의 command position 을 filtering buffer 에 채우고, position task 는 filtering 에 필요한 정해진 양의 position data 가 마련된 후에 buffer로부터 position data 를 가져와 운동 제어를 시작하게 된다. 이 경우 물론 interpretation 이 완료되는 시점과 운동 제어가 시작되는 시점 사이에 사용된 filter 의 order 와 position sampling time 에 의하여 결정되는 약간의 시간 지연이 발생되나, 운동 제어 시작 이전의 이러한 시간 지연은 NC 본래의 제어 성능에는 아무런 영향을 끼치지 않는다. Non-causal filtering 을 사용하지 않는 보통의 경우는 Fig.2 의 ①과 같이 servo task 는 매 정해진 시간마다 새로운 command position 을 생성 이를 command position buffer 의 첫 부분을 통하여 position task 로 전달한다.

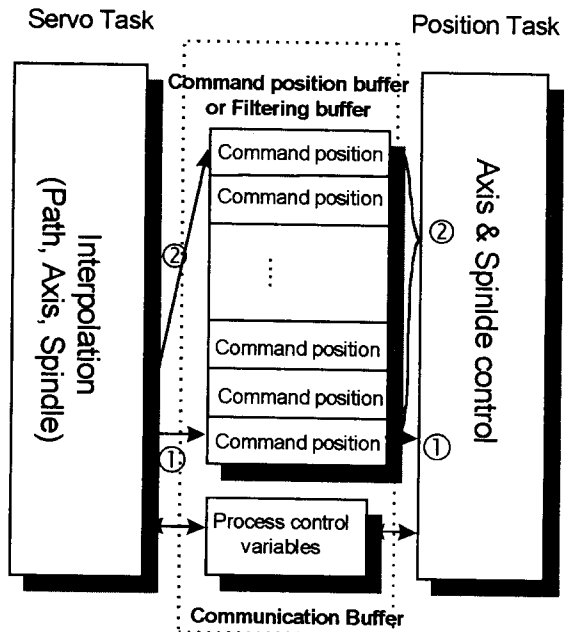


Fig.2 Non-causal filter implementation

3. Zero-lag non-causal filter

본 연구에서 사용된 zero-lag non-causal filter 는 일반적으로 off-line digital signal processing 에 사용되는 형태로 그 기본 원리는 다음과 같다.

Servo task로부터의 command position 은 다음 식(1)에 의하여 변형된다.

$$\rho'(i) = \sum_{j=-N}^{j=N} k'_j(i) \rho(i-j) \quad (1)$$

식 (1)에서 $k'_j(i)$ 는 normalized 된 filter coefficient 로, order of filter 를 N 이라 할 때 다음과 같이 정의된다.

$$k_0 = 2fT$$

$$k_i = \frac{1 + \cos(\pi i/N)}{2\pi i} \sin(2\pi fT i) \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$k'_i = \frac{k_i}{\sum_{i=-N}^{i=N} k_i}$$

식 (2)의 f 는 filter frequency (Hz), T 는 interpolation cycle time (sec)이다. 식 (2)에 의하여 생성된 filter coefficient 는 다음 식 (3)의 조건을 만족시킴으로

$$k'_i = k'_{-i} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

식 (1)의 non-causal filter 는 f 의 filter frequency 를 가진 zero-lag non-causal filter 가 된다.

실제 응용 시 식 (2)의 filter coefficient 는 interpretation 단계에서 사전 계산된 후 시스템 data 로 설정되고, position task 는 매 수행 시 이들 filter coefficient 관련 시스템 data 와 filtering buffer 에 저장된 position data 를 이용 식 (1)에 의거 새로운 command position 을 생성한다.

이러한 zero-lag non-causal filter 사용의 장점은 filter 본래의 low-pass filtering 특성 외에, 사용에 따른 부수적인 phase 왜곡 현상이 없는 관계로 feedforward control 등의 응용을 고려할 시 특히 효과적이다.

4. Non-causal filter 에 기초한 learning control

Arimoto[5]에 의하여 시작된 후 지난 십년 간의 learning control 의 활발한 연구는 이 분야를 이미 제어 연구의 한 분야로 정착 시켰다. 그러나 그 동안의 많은 실험실 수준의 응용에도 불구하고, 실제 현장에서의 응용은 기존 제어 장치의 폐쇄적인 성향으로 결실을 맺지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 그동안 소개된 많은 learning algorithm 중 앞서 Fig.2 에 소개된 NC architecture 에 기초하여 그 응용이 용이한 learning algorithm[6]을 개발 중인 NC 에 적용하였다. 그 자세한 이론적 바탕은 Jang [6]에 언급되어 있으므로, 그 응용 부분만을 언급하면 다음과 같다.

우선 본 연구에서의 learning control 응용의 목적은 NC 가 특정 작업을 반복적으로 수행할 시 가공 정도를 높이기 위함이다. Servo 계가 LTI(Linear Time Invariant)라는 가정하에 사용된 learning algorithm 은 다음과 같다.

$$P_i(k) = P_{j-1}(k) + s \cdot \sum_{i=1}^p CA^{i-1} B e_{j-1}(k+i)$$

$$e(k+i) = 0 \quad \text{for } k+i > p$$

$$k = 0, 1, \dots, p-1, \quad j = 1, 2, \dots, \infty \quad (5)$$

위의 식(5)에서 $P_i(k)$ 는 j th 반복 시의 변경된 position command 를, $e_{j-1}(k+i)$ 는 $j-1$ th 반복 시의 position error 양으로 $P_{desired}(k+i) - P_{j-1}(k+i)$, $CA^{i-1}B$ 는 servo 계의 unit impulse response 를 나타내는 system Markov parameter 이다.

식 (5)가 보여주듯이 사용된 learning law 역시 non-causal filter 의 일종이다. 단지 다른점이 있다면 식(5)의 learning law 가 time domain 이 아닌 repetition domain 에서 작용한다는 점이다. 따라서 learning control 의 실제 응용을 위하여는 Fig.2 의 command position 용 filtering buffer 외에 $e_{j-1}(k+i)$ 를 위한 dummy buffer 를 마련해 주어야 한다. 그러나 Soft-NC 를 구

현함에 있어 사용되는 모든 communication 혹은 filtering buffer 들은 PC 주 메모리상의 memory segment 로 설정되므로, 시스템 자원이 허용하는 한도에서 dummy buffer 의 마련은 그리 어려운 일이 아니다.

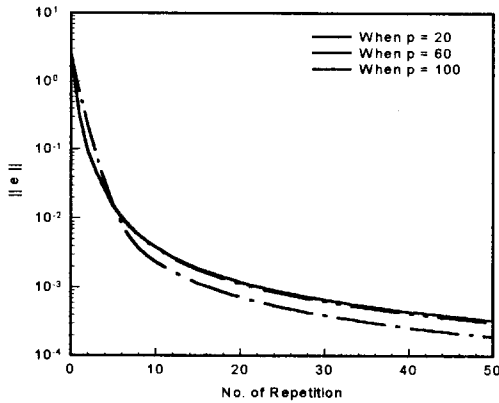


Fig.4 Learning behavior for different size of learning buffer

Fig.4 에서 보여주듯이 본 연구에 사용된 learning law 는 일반적인 NC trajectory 에 대하여 빠른 learning 능력을 가짐을 알 수 있다. 또 learning 시 사용된 buffer 의 적당한 크기는 위 도표에서 각기 다른 buffer 크기에 따른 position error 수렴 정도가 보여주듯이 아주 적은 크기의 buffer 만을 가지고도 원하는 learning 효과를 거둘 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 현재 개발 중인 개방형 NC 구조를 근간으로 그 특성상 motion control 에의 응용이 제한적이었던 zero-lag non-causal filter 를 공작기계의 운동 제어에 응용하는 방법론을 제시하였다. 특히 이에 기초한 learning control 의 응용은 반복적인 작업을 주로 수행하는 수치제어 공작기계의 경우가

공 정도의 향상 및 기계 노후 시에도 큰 비용부담 없이 가공 정도를 유지할 수 있는 방법론을 제시하고 있어 앞으로 공작기계에 있어 그 활발한 응용이 기대된다.

참고문헌

1. Pritschow, G., Daniel, C., Junghans, g., and Sperling, W. "Open System Controllers-A challenge for the future of the machine tool industry." CIRP Annals 1994.
2. OSACA (Open System Architecture for Controls within Automation Systems) HANDBOOK, Version 1.0.1(August 1997).
3. Sydenham, P.H., Handbook of Measurement Science, John Wiley & Sons Ltd., 1983.
4. Ferderick M. Proctor, James S. Albus, "Open-architecture controllers", IEEE SPECTRUM, JUNE 1997, pp. 60-64.
5. Arimoto, S., Kawamura, S. and Miyazaki, F., "Beterring Operation of Dynamical Systems by Learning: A New Control Theory for Servomechanisms or Mechatronic Systems," Proceedings of the 23rd IEEE Conference on Decision and Control, Fort Lauderdale, FL, Dec. 1985.
6. Jang H.S., "Analysis and Synthesis of Discrete-Time Learning Control", Ph.D Thesis, Columbia University, 1996.
7. Jang, H.S. and Longman, R.W., "A New Learning Control with Monotonic Decay of the Tracking Error Norm," Proceedings of 32nd Annual Allerton Conference on Communications, Controls and Computing, Urbana, IL, October 1994.
8. Tomizuka, M., Taso, T.-C. and Chew, K.-K., "Analysis and Synthesis of discrete time repetitive controllers," ASME Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control, Vol.11, No3, pp.353-358, 1989.