

논문 2007-44SC-6-3

MRPID 제어기의 튜닝 방법연구

(A Study on the MRPID parameter tuning method)

류 현 준*

(Hyun June Lyu)

요 약

Mutiresolution proportional-integral-derivative(MRPID) 제어기는 웨이브렛 기반의 다해상도 응답을 이용해서 여러 신호에 포함되어 있는 잡음과 외란을 제거하는 필터 역할을 해준다. 다해상도 응답의 특징상 샘플링 주파수가 높을 경우 상대적으로 고주파성분이 남아있음으로 인해 응답속도가 떨어지는 대신에 오버슈트가 제거되고, 낮을 경우 신호 성분이 제거되므로 인해 응답속도가 향상되지만 오버슈트가 증가 되는 결과를 보였다. 본 논문에서는 proportional-integral-derivative(PID) 제어기와 MRPID 제어기의 응답을 이용한 샘플링 주파수를 설정하는 기법과, MRPID 제어기의 특성을 고려한 파라미터 설정기법을 제안한다. 모의실험을 통해서 제안된 기법의 타당성을 검증하였다.

Abstract

Using multi-resolution, the mutiresolution proportional-integral-derivative(MRPID) controller functions as a filter to eliminate noise and disturbance which are included in error signals. If the sampling frequency is high, the response time will be delayed because of the remaining high frequency component although the overshoot is removed. However, if the sampling frequency is low, the response time will be enhanced by getting rid of signal components while the overshoot is increased. In this paper, the sampling frequency tuning method is used the response of the proportional integral derivative(PID) controller and the MRPID controller, and the parameter tuning method is considered the characteristic of the MRPID controller. The proposal method is verified by computer simulations.

Keywords : Wavelet transform, Multi-resolution analysis, MRPID controller, PID controller

I. 서 론

Proportional integral derivative(PID) 제어기는 구조가 간단하여 적용이 용이하고, 제어성능이 우수하기 때문에 산업현장에서 80% 이상을 차지할 정도로 많이 이용되고 있으며, 특히 고정밀과 고정도를 요구하는 제어기 분야에서 PID 제어기가 많이 사용되고 있다. 하지만, PID 제어기는 잡음과 외란의 영향을 받게 되고, 이를 고려해서 제어기를 설정하게 되면 목표 추종시 제어기의 성능이 떨어지는 문제가 발생한다^[1].

잡음과 외란으로 인한 문제를 해결하기 위한 방안으로 웨이브렛 변환을 이용하는 방안이 연구되고 있다^[2].

웨이브렛 변환은 입력신호를 저주파 영역과 고주파 영역 그리고 중간주파수 영역으로 분리하여 각각의 영역에서 잡음과 외란을 제거할 수 있도록 적합한 필터를 설계할 수 있기 때문이다. 최근에는 웨이브렛 변환을 사용해서 제어시 발생하는 잡음과 외란을 효율적으로 제거하는 방법인 Mutiresolution proportional-integral-derivative(MRPID) 제어기^[3]가 제안되었다. 그러나 웨이브렛 변환은 샘플링 주파수가 변함에 따라 각각의 계수는 그에 상응하는 대역폭을 가지게 된다^[4]. 이런 특성으로 인해 MRPID 제어기에서는 샘플링 주파수가 변함에 따라 출력이 변하게 되고, 결국 MRPID 제어기를 설정시 가장 먼저 고려를 해야 하는 요소가 된다.

본 논문에서는 MRPID 제어기 설정시 이런 문제점을 극복할 수 있도록 PID 제어기와 MRPID 제어기의 응답을 비교하면서 적합한 샘플링 주파수를 설정하였다. 그

* 정희원, 경북대학교 전자공학부
(Department of Electronics Engineering,
Kyungpook National University)

접수일자: 2007년6월22일, 수정완료일: 2007년10월17일

리고 MRPID 제어기의 입력신호가 저주파수, 고주파수, 그리고 중간주파수 대역으로 나누어짐에 따라 출력이 저주파수 일수록 PID 제어기의 비례특성을 가지며 고주파수 일수록 PID 제어기의 미분의 특성이 있는 것을 실험적으로 확인하였으며, 이런 제어기의 특징을 고려한 제어기의 동조 방법을 제안한다. 제안된 방법의 타당성은 모의실험을 통해서 검증하였다.

본 논문의 구조는 II장에서는 웨이블릿 변환에 대해서 설명하고, III장에서는 제안한 MRPID 제어기의 특징과 제어기 동조법에 대해서 기술 하였다. 그리고 실제 DC 모터 모듈에 적용하여 실험한 결과 및 고찰은 IV장에서 설명하였고, 마지막으로 V장에서는 결론을 기술하였다.

II. 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이블릿 이론의 배경은 주어진 신호를 직교성이 있는 웨이블릿을 적용하여 분해할 수 있다는 것이다. 이는 분해하고자 하는 신호를 주파수 특성에 따라 완전하게 표현할 수 있음을 의미하며, 직교 벡터공간에서의 웨이블릿을 변화시킴에 따라서 다양한 주파수대역의 신호들로 나타낼 수 있게 된다. 이러한 원리로부터 다중해상도 분석 알고리즘이 수립되었으며^[2], 이는 신호의 성분이 단계별로 더욱 세밀하게 표현되는 특징을 가지게 된다. 이러한 특징은 비정상적이면서 저주파성분이 많은 제어기의 에러 신호를 분해하는데 적합하다.

본 장에서는 MRPID 제어기에서 필터의 역할을 하는 다해상도 응답에 대해서 간략하게 설명하고, 직간접적으로 제어기의 출력에 관여하는 웨이블릿 변환의 주파수 응답에 대해서 살펴보겠다.

1. 다해상도 분석

다해상도 분석방법은 스케일 함수를 이용하여 함수 $f(t)$ 를 다해상도 분석공간으로 확장시키는 방법이다^[5]. 여기서 다해상도 분석공간의 확장은 상위영역(V_j)에서 하위영역(V_{j-1}, W_{j-1})으로 확장을 의미하며, 상위영역(V_j)과 하위영역(V_{j-1}, W_{j-1})의 관계는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 다해상도 분석공간은 상위영역(V_j)과 서로 정규직교 기저($V_{j-1} \perp W_{j-1}$)를 이루는 두 하위영역 (V_{j-1}, W_{j-1})으로 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_j = V_{j-1} \oplus W_{j-1} \tag{1}$$

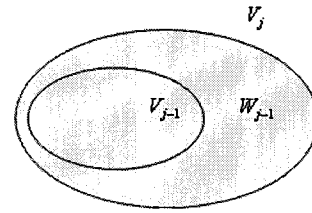


그림 1. 다해상도 분석 공간
Fig. 1. Multi-resolution analysis space.

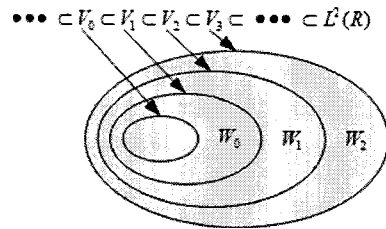


그림 2. 스케일함수와 웨이블릿 함수의 다해상도 분석 공간
Fig. 2. Multi-resolution analysis space of scale function and wavelet function.

다해상도 분석공간에서 하위영역으로 계속 확장될 경우 세부공간(W)만으로 근사공간 (V_j)을 식(2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$L^2(R) = \bigoplus_{j=-1}^{-\infty} W_j \tag{2}$$

앞에서 정의된 다해상도 분석공간의 영역은 그림 2와 같이 나타낼 수 있으며, 다해상도 분석 공간을 주파수 대역에서 상대적으로 비교하면, 저주파 대역은 근사공간(V)으로 고주파대역은 세부공간(W)으로 구분할 수 있다.

이렇게 구분된 근사공간(V)은 스케일 함수($\phi(t)$)를 세부공간(W)은 웨이블릿 함수($\psi(t)$)를 포함하며, 인접한 상위영역과 하위영역의 관계는 2단계 스케일 관계식으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi(t) = \sum_n b(k) \sqrt{2} \phi(2t - k) \tag{3}$$

$$\psi(t) = \sum_n h(k) \sqrt{2} \phi(2t - k) \tag{4}$$

위 식을 사용해서 영역 전체에 대하여 2단계 관계식을 정의하면 다음 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{(j+1)/2} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} b(k) \phi(2^{j+1}t - k) \tag{5}$$

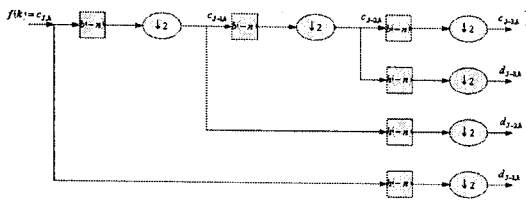


그림 3. 웨이브렛 변환의 필터뱅크 시스템
Fig. 3. Filter bank system of wavelet transform.

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{(j+1)/2} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} h(k) \phi(2^{j+1}t - k) \quad (6)$$

웨이브렛 변환을 위해서 함수 $f(t)$ 와 위 식의 양변에 내적을 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\langle \phi_{j,k}, f(t) \rangle = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} b(k) \langle \phi(2^{j+1}t - k), f(t) \rangle \quad (7)$$

$$\langle \psi_{j,k}, f(t) \rangle = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} h(k) \langle \phi(2^{j+1}t - k), f(t) \rangle \quad (8)$$

위 식을 통해서 상세계수 $d_{j,k}$ 와 근사계수 $c_{j,k}$ 가 정의되며, 상위 영역에서 하위영역으로의 확장은 다음같이 정의된다.

$$c_{j,k} = \sum_n b(n) c_{j+1,k} \quad (9)$$

$$d_{j,k} = \sum_n h(n) c_{j+1,k} \quad (10)$$

위 식이 의미하는 것은 상위영역 V_{j+1} 에서 하위영역 V_j, W_j 으로 확장은 웨이브렛의 필터계수($b(n), h(n)$)를 이용해서 이루어지는 것을 나타내며, 그림 3과 같이 필터뱅크 구조로 웨이브렛 변환을 나타낼 수 있다^[5].

2. 이산 웨이브렛 변환의 주파수응답

웨이브렛 변환은 그림 4와 같은 시간-주파수에 창을 가지고 있는데, 고주파수일 수록 좁은 시간영역 Δt 로 인해 시간에 대하여 세밀하게 해석할 수 있고, 저주파수일 수록 좁은 주파수영역 $\Delta \omega$ 로 인해 주파수에 대한 해석이 용이하게 한다. 그리고 저역통과 필터와 고역통과 필터를 반복적으로 수행 하므로 입력신호에 따른 다양한 주파수 대역에서 분석할 수 있게 하며, 이는 제어기에서 다양한 주파수 대역을 가지는 신호를 만들게 된다^[4].

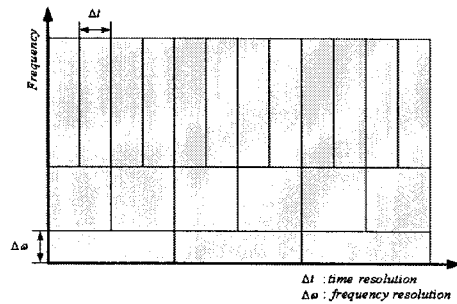


그림 4. 웨이브렛 변환의 시간-주파수 해상도
Fig. 4. Time and frequency resolution of wavelet transform.

제어기 신호는 대부분 저주파 신호로 구성되며, 이는 웨이브렛 변환의 주파수 응답에 따라서 MRPID 제어기의 출력특성이 결정되는 것을 의미한다. 그리고 샘플링 주파수에 의해서 MRPID 제어기의 주파수 응답이 결정되는 것을 고려할 때 MRPID 제어기 설정시 가장 먼저 고려해야 하는 제어성분이 된다.

III. MRPID 제어기

MRPID 제어기에서 웨이브렛 변환은 고주파 필터와 저주파 필터를 사용해서 에러신호에서 다양한 주파수 대역폭을 가지는 신호로 나누고, 에러신호에 포함되어 있는 잡음과 외란 신호를 제거함과 동시에 제어기 역할도 겸하게 된다^[3]. 이는 단순한 PID의 비례와 미분특성에서부터 시작해서 웨이브렛 필터를 거침에 따라 PID 제어기의 비례와 미분성분 특성을 가지는 MRPID 제어기의 제어신호가 만들어진다.

본 장에서는 MRPID 제어기의 구조에 대해서 살펴본 다음에 본 논문에서 제안하는 MRPID 제어기의 동조법에 대해서 설명하겠다.

1. MRPID 제어기의 구조

MRPID 제어기는 계산 부분을 제외한 거의 모든 부분이 PID 제어기와 같은 구조로 되어 있으며, 특히

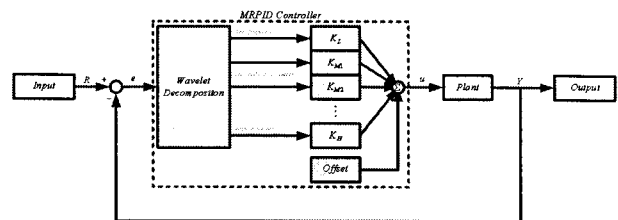


그림 5. MRPID 제어기
Fig. 5. MRPID controller.

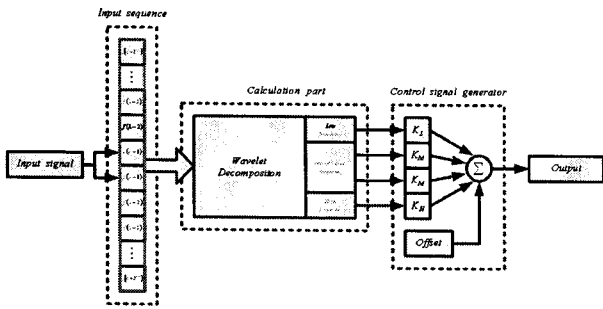


그림 6. MRPID 제어기 블록도
Fig. 6. Block diagram of MRPID controller.

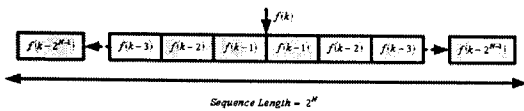


그림 7. 입력 시퀀스 구조
Fig. 7. Input sequence structure.

표 1. 다비치 웨이브렛의 필터계수 (d4)

Table 1. Filter coefficients of Daubechies wavelet (d4).

| | | | | |
|--------|---------|---------|--------|---------|
| $b(n)$ | 0.4830 | 0.8365 | 0.2241 | -0.1294 |
| $h(n)$ | -0.1294 | -0.2241 | 0.8365 | -0.4830 |

PID 제어기의 비례, 적분 그리고 미분성분은 각각의 게인을 가지고 있듯이 MRPID 제어기도 그림 5와 같이 웨이브렛 필터로 분해한 신호마다 출력 게인 값이 주어진다. 그리고 MRPID 제어기는 게인 값을 사용해서 제어신호를 만들게 된다^[3].

MRPID 제어기는 그림 6과 같이 입력 시퀀스 부분, 웨이브렛 변환부분, 그리고 제어기 게인 설정부분으로 나누어진다. 먼저 입력 시퀀스 부분은 그림 7과 같이 구성되며, 입력 시퀀스의 길이는 2^N 으로 하여 웨이브렛 변환을 용이하게 한다^[3]. 그리고 본 논문에서는 샘플링 주파수의 변화에 따른 주파수 응답을 얻기 위해서 입력 시퀀스의 길이는 2^8 으로 고정하였다.

계산부분은 전처리 부분, 웨이브렛 변환부분 그리고 웨이브렛 역변환 부분으로 구성된다. 먼저 전처리 부분에서는 2번의 저역 통과 필터를 사용해서 MRPID 제어기에서 다양한 주파수 응답을 얻음과 동시에 너무 낮은 샘플링 주파수를 설정시 발생하는 문제점을 고려하였다. 웨이브렛의 변환과 역변환 부분은 잡음과 외란을 제거하고 다양한 주파수 대역을 가지는 신호를 얻기 위해서 필터뱅크 구조를 사용하였으며, MRPID 제어기에서 사용할 웨이브렛 모함수로는 잡음과 외란의 영향을 제거하기 위해 시간영역과 주파수영역에서의 특성이 우수한 다비치 웨이브렛을 사용하였다^[6].

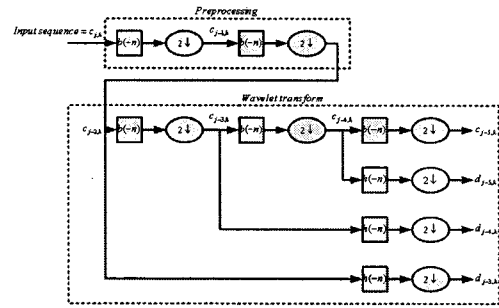


그림 8. 웨이브렛 변환
Fig. 8. Wavelet composition.

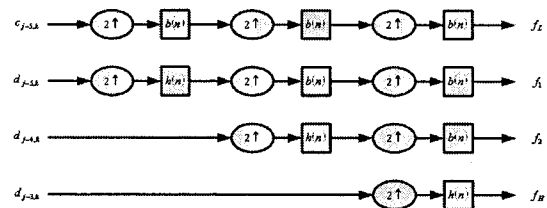


그림 9. 웨이브렛 역변환
Fig. 9. Wavelet decomposition.

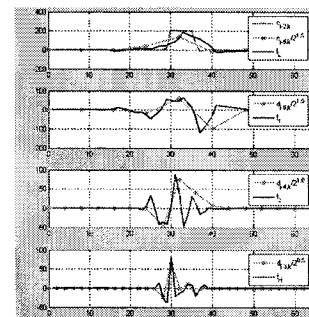


그림 10. 웨이브렛 변환과 역변환 결과 (에러신호=98.8%)
Fig. 10. Wavelet composition and decomposition result (error signal=98.8%).

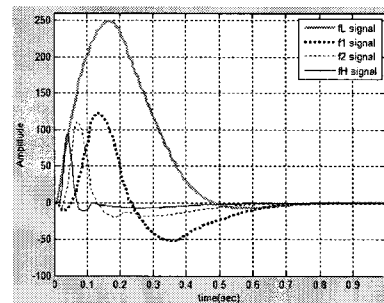


그림 11. MRPID 제어기의 출력신호
Fig. 11. Output signal of MRPID controller.

다해상도 응답으로 얻은 결과는 하나의 값이 아니라 그림 10과 같이 파형으로 결과를 얻을 수 있다. 그리고 각각의 신호의 중간에 위치한 값을 취해서 출력하게 되며, 파형이 시프트된 것을 고려해서 중간에 위치한 값은 그림 10과 같이 웨이브렛 변환을 한 결과와 역변환을 한 결과를 비교해서 정하게 된다.

먼저 저주파수 신호 f_L 는 오른쪽으로 1번 시프트된 것을 감안해서 33번째 값을 출력으로 사용하고, 중간주파수 신호 f_1 와 f_2 는 시프트된 것을 가만해서 29번째 값과 31번째 값을 출력으로 사용하게 된다. 마지막으로 고주파수인 f_H 는 32번째 값을 출력으로 사용한다. 위와 같은 출력을 설정한 다음 본 논문에서 제안하는 MRPID 제어기 설정 방법으로 튜닝을 하면 그림 11과 같은 MRPID 제어기의 출력신호를 얻을 수 있다.

MRPID 제어기는 PID 제어기와 마찬가지로 각각의 신호의 특징을 고려해서 출력 계인을 설정하게 되며, 출력 계인은 저주파 계인(K_L), 고주파 계인(K_H), 그리고 중간주파수 계인(K_M)으로 구성된다. 본 논문에서는 잡음과 외란의 영향을 고려해서 고주파 계인(K_H)을 사용하지 않았으며, 중간주파수 신호의 계인 설정을 쉽게 하기 위해서 두 신호(f_1, f_2)는 같은 계인 값을 적용하였다. 본 논문에서는 MRPID 제어기의 정상상태오차를 제거하는 성분이 없는 관계로 오프셋 값을 추가해서 정상상태오차를 제거하였다.

2. MRPID 제어기의 동조법

MRPID 제어기에서는 샘플링 주파수가 변함에 따라 제어기의 출력이 변하게 된다. 그로 인해 샘플링 주파수를 변경할 경우 MRPID 제어기의 계인을 다시 설정해야 하는데, 이를 고려해서 제안하고자 하는 동조법에서는 그림 12번과 같이 샘플링 주파수를 설정한 다음 MRPID 제어기의 계인을 설정하게 된다.

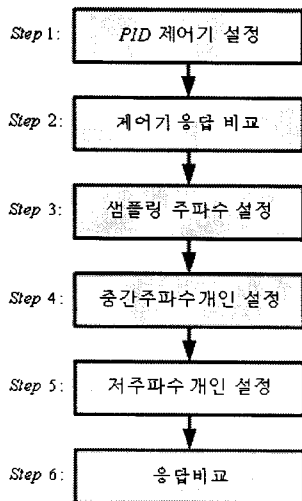


그림 12. MRPID 제어기 설정방법의 블록도
Fig. 12. Block diagram of MRPID controller tuning method.

표 2. PID 제어기의 특성

Table 2. The characteristics of PID controller.

| | 상승시간 | 오버슈트 | 안정시간 | 정상상태 오차 |
|-------|------|------|------|---------|
| K_P | 감소 | 증가 | 약간변화 | 감소 |
| K_I | 감소 | 증가 | 증가 | 제거 |
| K_D | 약간변화 | 제거 | 감소 | 약간변화 |

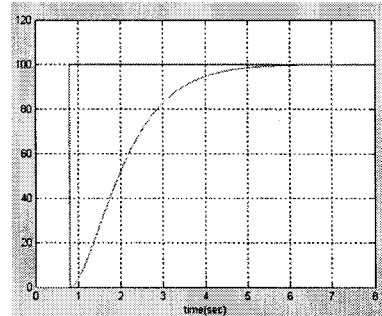


그림 13. PID 제어기 응답
Fig. 13. Response of PID controller.

샘플링 주파수를 설정하는 과정에서는 플랜트의 반응속도를 고려해서 하는데, 만약 반응속도보다 높은 샘플링 주파수를 설정할 경우 오버슈트는 제거되지만 상승시간은 증가하고, 반대로 낮은 샘플링 주파수를 설정할 경우 상승시간은 감소하지만 오버슈트가 발생하게 된다. 그래서 MRPID 제어기는 플랜트의 반응속도에 따라서 샘플링 주파수를 설정해야 한다. 본 논문에서는 플랜트의 반응속도에 상응하는 PID 제어기의 응답을 사용해서 MRPID 제어기의 샘플링 주파수를 설정하게 된다. MRPID 제어기의 설정과정은 다음과 같이 6단계 step으로 구성된다.

Step 1: PID 제어기의 비례, 적분 그리고 미분특성을 고려해서 그림 13과 같이 오버슈트가 없는 안정된 응답을 구한다^[7].

Step 2: PID 제어기와 MRPID 제어기의 응답을 비교하면서 샘플링 주파수를 설정하기 위해 각각의 샘플링 주파수에서 두 제어기의 응답이 75% 되는 지점에서 교차하도록 중간주파수 계인(K_M)을 설정하면 그림 14(a)와 같은 응답을 얻을 수 있다.

Step 3: 만약 설정한 샘플링 주파수가 낮을 경우 교차하는 지점에서 그림 14(a)와 같이 오버슈트가 발생하며, 높을 경우 교차하는 지점에서 응답속도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이를 고려해서 샘플링 주파수를 설정할 경우 그림 14(b)와 같이 중간주파수 계인(K_M)의 응답과 PID 제어기의 응답을 비교할 수 있다.

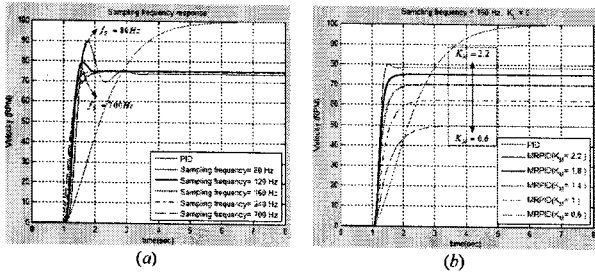


그림 14. MRPID 제어기의 샘플링 주파수 설정
(a) 샘플링주파수 설정 (b) 샘플링 주파수가 160Hz일 경우 중간 주파수 게인(K_M)의 응답

Fig. 14. Sampling frequency tuning of MRPID controller.
(a) Sampling frequency tuning (b) Response of intermediate frequency gain(K_M) (sampling frequency=160Hz).

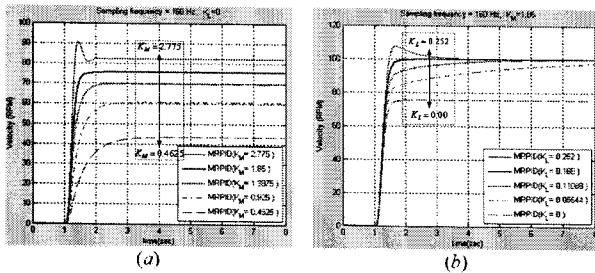


그림 15. MRPID 제어기의 게인 설정(샘플링 주파수 = 160Hz)
(a)중간주파수 게인(K_M) (b) 저주파수 게인 (K_L)

Fig. 15. Gain tuning of MRPID controller(Sampling frequency = 160Hz).
(a) Intermediate frequency gain (K_M) (b) Low frequency gain (K_L).

Step 4: 제어기의 응답을 고려해서 샘플링 주파수를 설정한 다음, 그림 15 (a)와 같이 굴곡이 없는 완만한 응답이 되도록 중간주파수 게인(K_M)을 증가시킨다.

Step 5: 오버슈트가 발생하지 않도록 저주파수 게인 (K_M)을 그림 15 (b)와 같이 증가시킨다.

Step 6: 마지막으로 MRPID 제어기와 PID 제어기의 성능을 비교한다.

PID 제어기 설정시 마지막 과정에서 정상상태오차가 발생하는 경우가 있는데, 이런 경우 PID 제어기는 적분 성분을 사용해서 정상상태오차를 제거한다. 하지만, MRPID 제어기는 주파수 대역별로 입력신호를 분해하여 다루기 때문에 정상상태 오차를 제거하는 기능이 없다. 본 논문에서는 이를 고려해서 출력에 오프셋 값을 추가해서 정상상태 오차를 제거하게 된다. 오프셋 값은 PID 제어기의 정상상태출력 값으로 설정하면 된다.

IV. 모의실험 및 결과

제안한 MRPID 제어기의 튜닝 방법을 검증하기 위해서 DC모터의 속도를 제어하는 모의실험을 하였으며, 이를 위해서 DC모터를 Simulink를 사용하여 그림 16과 같이 구성하였다. 그리고 모의시험에서 사용할 DC모터의 파라미터는 표 3과 같이 구성하였다. 본 장에서는 MRPID 제어기를 설정과정에서의 제어성분의 특성을 확인한 다음에, MRPID 제어기와 PID 제어기의 제어특성을 비교하였으며, 모의실험을 수행하기 위해서 Matlab/Simulink를 사용하였다.

MRPID 제어기의 샘플링 주파수 설정을 위해서 PID 제어기에는 표 4에 표시된 파라미터를 사용해서

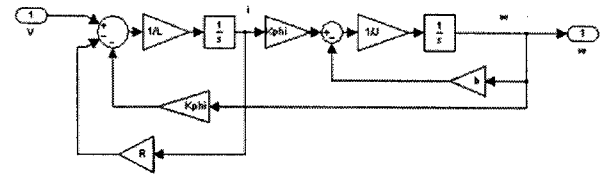


그림 16. DC모터의 블록도
Fig. 16. Block diagram of DC motor.

표 3. DC 모터의 파라미터
Table 3. Coefficients of DC motor.

| 기호 | 설명 | 값 | 단위 |
|----------|-------------------------|------|----------------|
| L | windings inductance | 0.1 | H |
| K_ϕ | Back emf constant | 0.3 | Constant |
| J | load moment of inertial | 0.1 | $Kg \cdot m^2$ |
| b | viscous friction | 0.01 | Constant |
| R | windings resistance | 2 | Ω |

표 4. PID 제어기 파라미터 값
Table 4. Parameter of PID controller.

| | K_P | K_I | K_D |
|-----|-------|-------|-------|
| 설정값 | 25 | 3.4 | 2 |

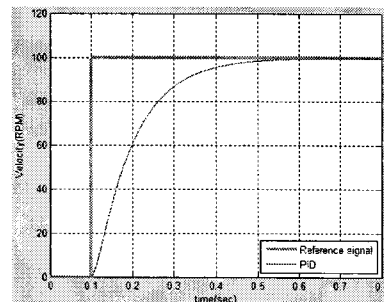


그림 17. PID 제어기 응답
Fig. 17. PID controller response.

그림 17과 같은 오버슈트가 없는 안정된 응답을 얻을 수 있었다. PID 제어기를 설정시 정상상태 오차가 발생하였기 때문에, MRPID 제어기의 오프셋 값을 PID 제어기의 정상상태출력 값인 36.6으로 설정하였다.

1. MRPID 제어기 설정

설정과정에서 샘플링 주파수에 따른 MRPID 제어기의 응답을 비교하기 위해서 샘플링 주파수를 2000Hz로 설정할 경우 응답속도가 빨라지지만 오버슈트가 발생하였고, 샘플링 주파수가 7000Hz인 경우 응답속도가 떨어지지만 오버슈트가 제거되었다. 그리고 샘플링 주파수를 3000Hz로 설정할 경우 오버슈트가 없으면서 빠른 응답속도가 나오는 것을 그림 18에서 확인할 수 있다.

중간주파수 게인(K_M)을 증가하면 제어기의 응답속도가 향상됨과 동시에 정상상태오차 그리고 정착시간이 감소하는 현상을 보였다. 그리고 중간주파수 게인(K_M) 값을 계속 증가할 경우 그림 19(a)와 같이 오버슈트가 발생한 것을 확인할 수 있다.

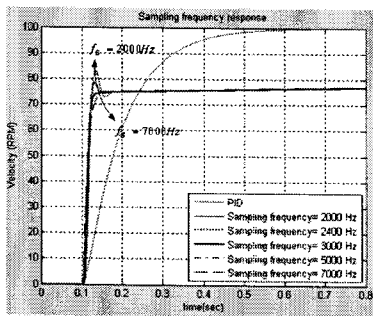


그림 18. 샘플링 주파수 설정에서의 MRPID 제어기 응답
Fig. 18. MRPID controller response in sampling frequency tuning.

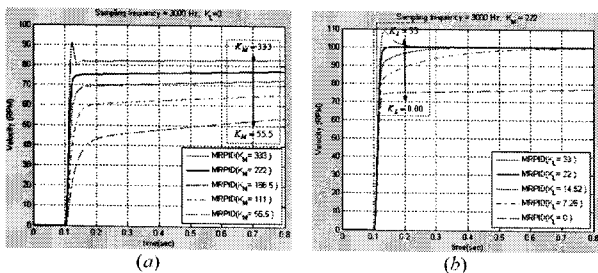


그림 19. 게인 설정에서의 MRPID 제어기 응답
(a) 중간주파수 게인(K_M)
(b) 저주파수 게인(K_L)

Fig. 19. MRPID controller response in Gain tuning.
(a) Intermediate frequency gain (K_M)
(b) Low frequency gain (K_L).

표 5. MRPID 제어기 파라미터 값

Table 5. Parameter of MRPID controller.

| | K_L | K_M | Offset value | Sampling frequency |
|-----|-------|-------|--------------|--------------------|
| 설정값 | 22 | 222 | 36.6 | 3000 Hz |

저주파수 게인(K_L)을 설정하기 위해서 게인 값을 증가시키면 응답속도가 향상됨과 동시에 정상상태 오차가 감소하였으며, 저주파수 게인 (K_L)을 계속 증가할 경우 오버슈트가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 제안하는 동조법을 사용해서 표 5와 같이 파라미터를 설정하였으며, 빠른 응답속도를 얻음과 동시에 오버슈트가 없는 안정한 응답을 얻을 수 있었다.

2. MRPID 제어기와 PID 제어기의 게인 특성분석

PID 제어기와 MRPID 제어기의 제어성분을 비교하고자 먼저 MRPID 제어기의 샘플링 주파수를 설정후 제어성분의 특성을 비교하였다. MRPID 제어기의 저주파수 성분을 스텝응답으로 확인해 본 결과 게인 값이 증가함에 따라 응답속도가 향상되었고, 정상상태 오차가 감소함과 동시에 오버슈트가 증가한 것을 확인할 수 있다. 이것은 PID 제어기의 비례성분 같은 특성을 가진 것을 의미하며, 그림 20(a)(b)에서 MRPID 제어기의 저주파수 성분과 PID 제어기의 비례성분이 비슷한 응답을 내는 것을 확인할 수 있다.

MRPID 제어기의 중간주파수 성분과 PID 제어기의 미분성분을 비교한 결과 두 제어기 모두 오버슈트를 제거하는 특성을 가지고 있었으며, MRPID 제어기의 중간주파수 성분은 응답속도 또한 향상된 것을 볼 때 비례성분의 특성을 가진 것을 그림20(c)(d)에서 확인할 수 있다. 이러한 MRPID 제어기의 제어특성은 제안하는 동조법을 사용해서 찾은 샘플링 주파수를 이용하였기 때문에 찾을 수 있었고, MRPID 제어기의 제어특성을 종합해보면 표 6과 같이 나타낼 수 있다.

DC모터의 모델을 사용한 모의실험을 통해서 제안한 기법으로 튜닝한 MRPID 제어기는 PID 제어기 보

표 6. MRPID 제어기의 특성

Table 6. The characteristics of MRPID controller.

| | 상승시간 | 오버슈트 | 안정시간 | 정상상태 오차 |
|-------|------|------|------|---------|
| K_L | 감소 | 증가 | 약간변화 | 감소 |
| K_M | 감소 | 제거 | 감소 | 감소 |

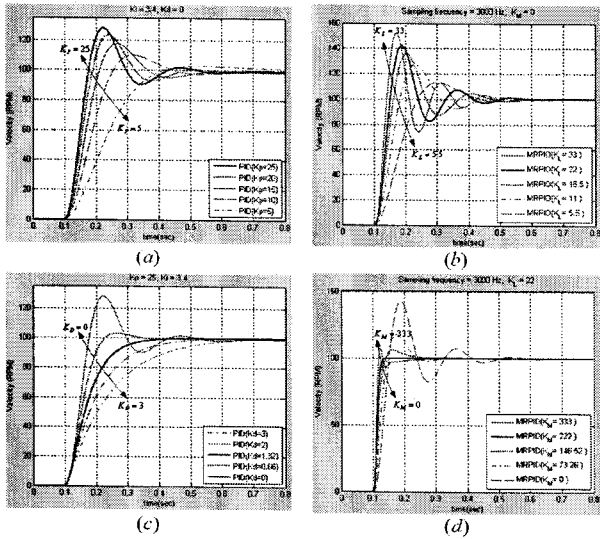


그림 20. PID 제어기와 MRPID 제어기의 응답
 (a) PID 제어기의 비례성분 (b) MRPID 제어기의 저주파수성분 (c) PID 제어기의 미분성분 (d) MRPID 제어기의 중간주파수성분

Fig. 20. PID controller and MRPID controller response.
 (a) Proportional of PID controller (b) Low frequency of MRPID controller (c) Derivative of PID controller (d) Intermediate frequency of MRPID controller.

표 7. MRPID 제어기와 PID 제어기의 실험결과
 Table 7. Experimental result of MRPID controller and PID controller.

| | MRPID 제어기 | PID 제어기 |
|--------|-----------|-----------|
| 상승시간 | 0.0164sec | 0.207 sec |
| 오버슈트 | 0% | 0% |
| 정상상태오차 | 0.0002% | 0.0441% |

다 빠른 응답속도를 보였으며, 정상상태 오차 또한 MRPID 제어기가 안정된 결과를 보였다.

V. 결 론

MRPID 제어기는 다양한 주파수 대역폭을 가지는 출력신호로 인해 잡음과 외란의 영향을 줄일 수 있는 장점이 있었으나, 구조적인 부분과 설정과정 부분에서 정형화 되어 있지 않기 때문에 MRPID 제어기를 구현시 많은 어려움이 있었다.

본 논문에서는 구조적인 부분과 설정과정을 정형화를 하고자 하였다. 먼저 구조적인 부분에서는 입력 데이터의 길이를 2⁸으로 고정하였고, 일정한 구조에서 웨이블릿 변환하였다. 그리고 웨이블릿 변환과 역변환 사

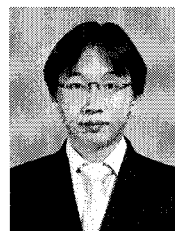
이에 시프트 되는 것을 고려해서 출력 값을 선정하였고, 정상상태 오차를 제거하는 제어기능이 없는 것을 고려해서 오프셋 값을 추가하였다.

설정과정에서는 샘플링 주파수에 의해 MRPID 제어기의 출력이 변하는 것을 고려해서, 본 논문에서 제안하는 동조법은 먼저 샘플링 주파수를 설정 되었다. 그리고 응답속도에 상응한 샘플링 주파수를 설정하기 위해서 PID 제어기의 응답을 사용하였다. DC모터를 모델링한 블록을 사용한 모의실험을 통해서 MRPID 제어기의 튜닝방법과 제어특성을 찾을 수 있으며, 특히 MRPID 제어기의 중간주파수 성분은 상승시간을 줄여 줌과 동시에 오버슈트를 감소시키는 특성을 인해 PID 제어기보다 고성능을 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Butler, G. Honderd, J. van Amerongen, "Model reference adaptive control of a direct-drive DC motor," IEEE Control Systems, vol. 9, no. 1, pp. 80-84, Jan. 1989.
- [2] S. G. Mallat, "A theory of multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, Jul. 1989.
- [3] S. Parvez, Z. Gao, "A Wavelet-Based Multiresolution PID Controller," IEEE Trans. Industry Applications, vol. 41, no. 2, Mar./Apr. 2005.
- [4] C. Parameswariah, M. Cox, "Frequency characteristics of wavelets," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 17, no. 3, pp. 800 - 804, Jul. 2002.
- [5] 이승훈, 윤동한, 알기쉬운 웨이블릿 변환, 진한도서, pp.517-564, 2003.
- [6] 최혜원, 이성수, 윤영로, "신경망과 웨이블릿 변환을 이용한 뇌전도의 간질 극과 검출," 의공학회지, 제20권, 제6호, pp.555-560, 1999.
- [7] 한태환, 한수희, CEMTool 활용 제어시스템 해석 및 설계, 기전연구소, pp.243-275, 2006.

저 자 소 개



류 현 준(정회원)
 2005년 2월 상주대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 2005년 3월~현재 경북대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 제어이론, 신호처리, 반도체, 웨이블릿 이론 등>