

Current Estimator를 이용한 멀티레이트 제어기 설계

Design of Multirate Controller using a Current Estimator

황 희 철, 정 정 주**

* 한양대학교 전자통신전공학과 (Tel: +82-2-2282-5307 ; E-mail: naru98@hymail.hanyang.ac.kr)

** 한양대학교 전자전기공학부 (Tel: +82-2-2290-1724 ; E-mail : cchung@email.hanyang.ac.kr)

Abstract : This paper presents a multirate state feedback control (MRSFC) method for systems sensitive to disturbance and noise based on the multirate estimator design using the current estimator. MRSFC updates the controller output slower than the measurement sampling frequency of system output by a lifting factor $R = T_c/T_s$. The closed-loop MRSFC system is less sensitive to disturbance and noise due to filtering effect than the conventional single-rate control system. The multirate estimator gain is obtained from solving a conventional pole placement problem such that MRSFC has the same spectrum of eigenvalues in the s-plane as the single-rate control. We applied the proposed multirate state feedback controller to a galvanometer servo system. Simulation and experimental results show that settling and tracking performances are improved compared with a conventional single-rate pole placement control (PPC).

Keywords : multirate control, digital control, estimator, sampling rate, disturbance & noise

1. 서론

이산 시간 디지털 제어기 설계에 있어 플랜트 출력 측정 샘플링 주기 T_s 와 제어기 출력 갱신 주기 T_c 가 같은 (즉 $T_c = T_s = T$) 기존의 싱글레이트 디지털 제어기의 경우 샘플링 주기 T 를 빨리 할수록 추정기 이득이 커짐에 따라 센서의 측정 노이즈에 민감하게 된다. 따라서 시스템의 추종 성능(tracking performance) 저하를 야기시키게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 anti-aliasing 필터를 쓰면 위상 지연(phase lag)에 의한 시스템의 동적 성능이 나빠지는 결과를 초래할 수 있다.

위와 같은 문제점을 해결할 수 있는 방식으로 멀티레이트 제어(multirate control)를 고려할 수 있다. 멀티레이트 제어 시스템이란 플랜트 출력 측정 샘플링 주기 T_s 와 제어기 출력 갱신 주기 T_c 를 달리 설정하는 디지털 제어 시스템을 의미한다[4]. Hagiwara와 Araki[2][3]는 외란과 노이즈가 없는 시스템에 적용 가능한 멀티레이트 출력 제어기(multirate output controller) 설계에 대해 연구하여 멀티레이트 출력 제어기에 의한 시스템 성능이 T_s 와 T_c 주기가 같은 일반적인 싱글레이트 디지털 제어기에 비해 우수함을 시뮬레이션을 통해 보였다. 그러나 플랜트 동역학은 고려하였으나 추정기 동역학을 고려하지 않았고 샘플링비($R = T_c/T_s$)가 충분히 큰 조건을 만족할 경우에 제어기 극점과 추정기 극점을 임의로 배치(assignment)할 수는 있지만 제어기와 추정기의 독립적인 설계가 불가능하여 극점배치에 있어 오류를 범할 수 있다. 무엇보다도 멀티레이트 출력 제어기 구조는 T_s 가 빨라짐에 따라 제어기 이득(controller gain)이 상승하여 센서의 측정 노이즈를 증폭시켜 시스템 추종 성능을 저하시키는 단점이 있다[1][5][6].

본 논문에서는 외란과 노이즈에 민감한 시스템의 문제점을 해결할 수 있는 멀티레이트 추정기 설계에 기반한 새로운 멀티레이트

상태제어 제어기(MRSFC) 설계방법을 제안한다. 즉, 플랜트 동역학과 추정기 동역학을 모두 고려하여 추정기와 제어기에 각각 임의의 극점을 할당할 수 있는 안정한 멀티레이트 상태제어 제어기 설계 방법을 제시한다. 외란과 노이즈에 의해 추정기 이득이 증가되지 않는 멀티레이트 추정기 이득을 설계하는 방법을 해석한다. 멀티레이트 상태제어 제어기의 성능검증을 위한 적절한 플랜트로써 외란과 노이즈에 민감한 갈바노미터 시스템을 선택하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 기존의 싱글레이트 극점배치 제어기와 성능 비교를 함으로써 제안된 방법의 우수성을 증명한다.

2. 새로운 멀티레이트 제어기 설계

2.1 멀티레이트 제어기 구조

다음과 같은 일반적인 단일 입출력 제어 시스템의 연속시간 선형 상태 공간 모델식을 생각한다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Fx(t) + Gu(t) \\ y(t) &= Hx(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $x(t) \in R^n$; $u(t) \in R^1$; $y(t) \in R^1$ 이고 시스템 (F, G)는 제어가능하고, (F, H)는 관측 가능하다고 가정한다. 식(1)에 ZOH를 적용하여 등가 이산시간 상태공간 표현을 하여 다음과 같은 표준 차분방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} x(k+1, 0) &= \Phi_{T_c} x(k, 0) + \Gamma_{T_c} u(k, 0) \\ y(k+1, 0) &= Hx(k, 0) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\Phi_{T_c} = e^{FT_c}$, 이고 $\Gamma_{T_c} = \int_0^{T_c} e^{F\eta} d\eta G$ 이다. T_c 는 기존의 싱글레이트 디지털 제어에서는 샘플링 주기이고 제안된 멀티레이트 디지털 제어에서는 제어 출력 갱신 주기를 의미한다. 한편 제