향상된 성능을 갖는 혼합 d-step 예측기 설계

Hybrid d-step predictor design with improved prediction performance

ₒ김윤선*, 윤주홍**, 박영진***

* 한국과학기술원 기계공학과(Tel : +82-42-869-3076; Fax : +82-42-869-3095; Email : migael@bomun.kaist.ac.kr)
** 한국과학기술원 기계공학과(Tel : +82-42-869-3076; Fax : +82-42-869-3095; Email : jhyoon@sunam.kreonet.re.kr)
*** 한국과학기술원 기계공학과(Tel : +82-42-869-3036; Fax : +82-42-869-8220; Email : yjpark@sorak.kaist.ac.kr)

Abstracts : In this paper, we propose a hybrid d-step predictor which is composed of an adaptive predictor and a Kalman predictor. We prove the performance limit of the proposed predictor. Simulation is conducted to examine the performance of the proposed predictor. Simulation results show that the proposed combined predictor is superior to the adaptive predictor and the Kalman predictor. Proposed predictor is used for prediction of gun tip vibration of k1 tank . The result is compared with that of conventional adaptive predictor.

Keywords : hybrid predictor, kalman predictor, adaptive predictor, vibration prediction

1. 서론

선형 d-step 예측기는 많은 응용 분야에서 매우 유용한 방법이다. 예를 들면 예측제어, 목표물의 추적, Image processing, 통신 등을 들 수 있다. 따라서 예측기는 그동안 많은 연구가 있었고 사용되어 왔다. 잘 알려진 칼만 필터의 경우가 가장 많이 사용되어진 방법중의 하나이다. 또한 적응 신호처리 기법을 이용한 적응 예측기도 많이 사용된다. 적응 신호 처리 기법은 대상 시스템에 대한 정확한 모델링이 없어도 적용 가능한 편리한 방법이다. 하지만 측정 잡음에 민감할 수 있으므로 적절히 파라미터를 선정하여 사용하여야 하고 수렴성도 잘 고려해야 한다.

일반적으로 예측 구간이 길어지게 되면 칼만 필터나 여타의 방법들도 예측 성능이 나빠지기 쉽다. 그러므로 예측기의 성능을 향상 시키는 것은 시스템의 제어나 기타 여러가지 적용 분야에서 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 칼만 필터와 적응 예측기를 평행하게 결합하여 예측기의 성능을 향상시키는 새로운 구조의 예측기를 제안한다. 수학적으로 계산된 기존의 적응 예측기의 성능 한계와 제안된 예측기의 성능 한계를 비교 분석한다. 또한 모의 실험과 실제 대상 시스템에 적용으로 제안된 예측기의 성능을 검증한다.

2. 본론

2.1 Kalman predictor

칼만 필터(Kalman filter) 는 잘 알려진 방법으로 최적 관측기, 최적 예측기, 최적 잡음 필터링 등에 적용 될 수 있다. 본 연구에서는 최적 예측기로서 사용한다. 칼만 d-step 예측기는 1-step 예측기를 기반으로 한다. 아래에 1-step 예측기 구조의 칼만 필터를 간단하게 나타낸다. [1]
이산 시간 시스템 상태 방정식과 출력 방정식은 아래와 같다.

$$x(k+1) = A(k)x(k) + B(k)u(k) + w(k) \tag{1}$$

$$y(k) = C(k)x(k) + \varepsilon(k) \tag{2}$$

여기서 는 시스템 잡음이고 는 측정 잡음이다. 초기값과 잡음에 관하여 아래와 같은 가정을 할 수 있다.

$$E[x(0)] = \bar{x}(0) \tag{3}$$

$$E[w(k)] = 0 \tag{4}$$

$$E[\varepsilon(k)] = 0 \tag{5}$$

1-step 칼만 예측기 문제에서는

$$P(k+1) = E[e(k+1)e^{*}(k+1)] \tag{6}$$

를 최소로 하는 최적 예측 $\tilde{x}(k+1)$ 를 구하는 것을 목표로 한다.
예측기 구조의 칼만 필터 구조는 다음과 같이 나타낸다.

$$\tilde{x}(k+1) = A(k)\tilde{x}(k) + B(k)u(k) + K_e(k)[y(k) - C(k)\tilde{x}(k)] \tag{7}$$

$$K_e(k) = A(k)P(k)C^{*}(k)[R(k) + C(k)P(k)C^{*}(k)]^{-1} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} P(k+1) &= Q(k) + A(k)P(k)A^{*}(k) - A(k)P(k)C^{*}(k)[R(k) + C(k)P(k)C^{*}(k)]^{-1}C(k)P(k)A^{*}(k) \\ &= Q(k) + [A(k) - K_e(k)C(k)]P(k)A^{*}(k) \end{aligned} \tag{9}$$

$$\tilde{x}(0) = \bar{x}(0) \tag{10}$$

$$P(0) = P_0 \tag{11}$$

위의 결과를 이용하면 d-step 최적 예측기는 아래와 같이 얻을 수 있다.[2]

$$E[y(k+d)|F_t] = CA^{d-1}\tilde{x}(k+1) + \sum_{j=k+1}^{k+d-1} CA^{k+d-j-1}B(j)u(j) \tag{12}$$

식 (12)의 우변 둘째 항은 미래의 입력을 포함하고 있다. 본 연구에서는 현재까지의 입력과 출력 결과만을 바탕으로 미래의 출력을 예측해야 하므로 이 항은 고려할 수 없다. 본 연구에서 d-step 예측기로 칼만 필터를 사용할 때는 이 우측 항을 0 으로 가정하고 사용한다.

2.2 최소분산 예측기

확률적 외란을 갖는 최소 분산 예측기 (Minimum variance prediction with stochastic disturbances)는 예측기와 예측 제어 문제에서 일반적으로 사용되는 방법이다. 이 방법은 기본적으로 모델에 근거한 방법으로서 선형 및 비선형 시스템에도 적용 가능하다.[2]
아래에 시스템 모델을 나타낸다.