

Introduction

HuStar

2020.07.

이성윤

모델링을 한다는 것은?

- 시스템

- 서로 상호작용을 하거나 관련된 것들의 집합체
- 세상의 모든 시스템은 <동적> 시스템
 - 시스템 내의 물리적 변수들이 시간에 따라 변화함
 - 느림/빠름, 주기적/비주기적, 결정론적/확률론적
- 동적 시스템은 자연현상을 미분방정식으로 표현

- $\frac{dy(t)}{dt} = \dot{y} = f(t)$

- 유체의 흐름, 포물체 운동, 인구 증가, 은행 이자 등
- 시스템을 모델링하여 시스템의 동작을 예측할 수 있음

모델링을 한다는 것은?

- 플랜트

- 입력을 받고 출력을 내보내는 시스템
- 플랜트를 제어하고 조종하는 것이 공학의 본질
 - 기계공학: 역학을 바탕으로 이득(힘, 에너지 교환 등)을 얻기 위해 기계시스템(엔진, 열유체 등)을 설계하고 제어하는 학문
 - 전기전자공학: 전기전자 이론을 바탕으로 이득(힘, 정보전달)을 얻기 위해 전자시스템(회로, 모터, 전자석 등)을 설계하고 제어하는 학문

시스템을 모델링하는 두 가지 방법

- 주파수 영역

- 전달함수로 표현
- 전통적인 제어공학 기법

- $$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\mathcal{L}[y(t)]}{\mathcal{L}[u(t)]} \Big|_{initial\ conditions=0}$$

- 크기, 위상을 갖는 주기적 입력(sine)에 대한 출력의 의미
 - 변화에 대한 시스템의 응답속도를 나타냄
- 미분방정식을 라플라스로 변환하여 유도함
- 각 수식이 SISO(Single-Input-Single-Output)

시스템을 모델링하는 두 가지 방법

- 시간 영역

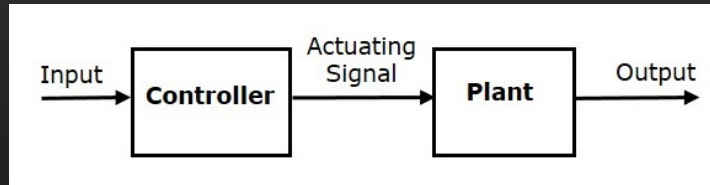
- 상태공간 방정식으로 표현
- 현대적인 제어공학 기법

- $$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) \end{cases}$$

- 시스템 내부의 물리적 상태(위치, 속도 등)의 시간에 대한 변화를 의미
- 미분방정식을 행렬(연립미분방정식)로 표현
- 각 수식이 MIMO(Multi-Input-Multi-Output)

제어한다는 것은?

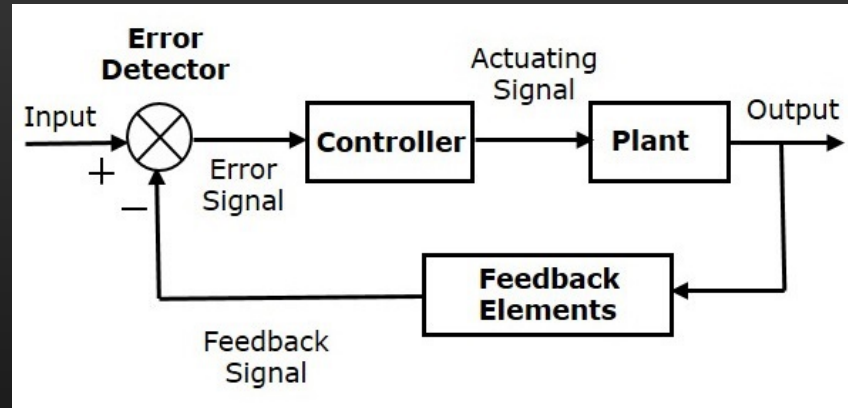
- 플랜트가 원하는 출력을 갖도록 입력을 적절히 조절하는 것
- Open-loop Control (피드포워드)



- 플랜트 모델을 완벽히 알고 있다면, 원하는 출력을 얻기 위해 필요한 이상적인 입력을 계산하여 구할 수 있음
- 가장 빠르고 간단한 제어방법

제어한다는 것은?

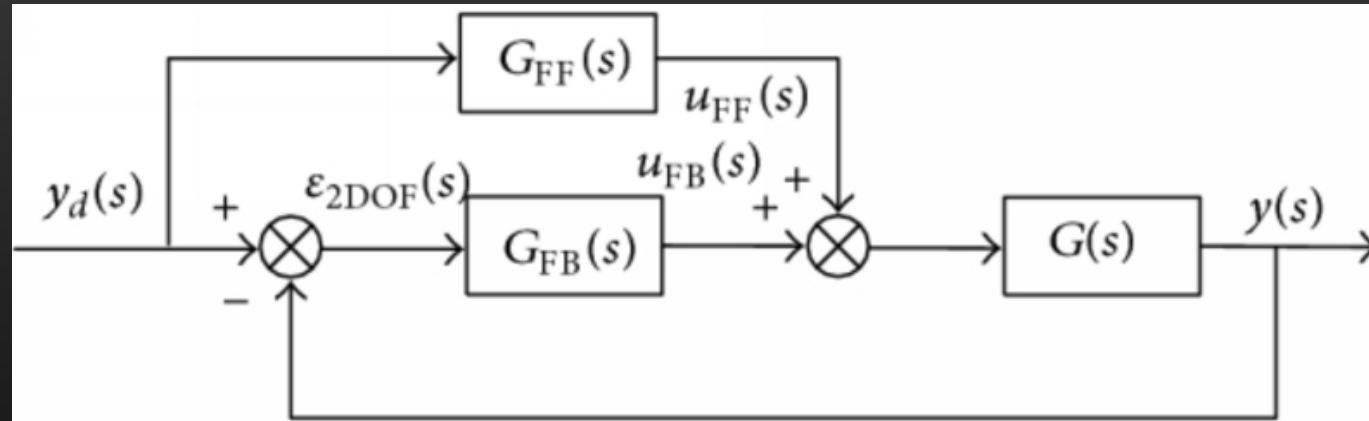
- Closed-loop Control (피드백)



- 플랜트 출력을 계측할 수 있다면, 원하는 출력을 위해 필요한 이상적인 입력을 찾아갈 수 있음
- 가장 보편적이고 안정적인 제어 방법 (ON/OFF, PID 등)

제어한다는 것은?

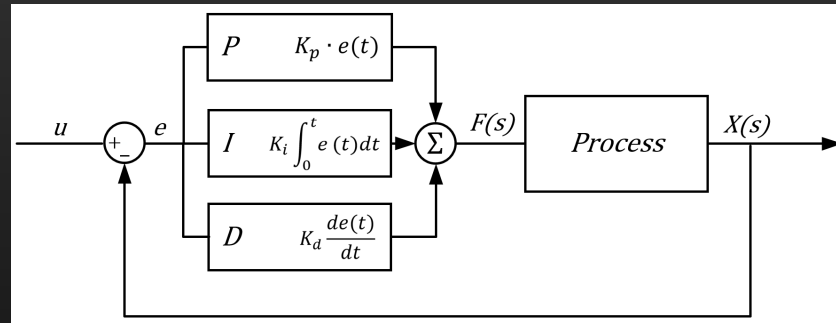
- 2-DOF Control (피드백+피드포워드)



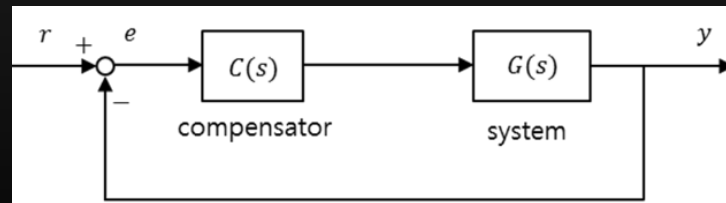
- 피드백과 피드포워드를 동시에 사용해 속도와 안정성을 모두 추구

제어기를 설계하는 두 가지 방법

- 주파수 영역
 - PID(Proportional-Integral-Differential) 제어기

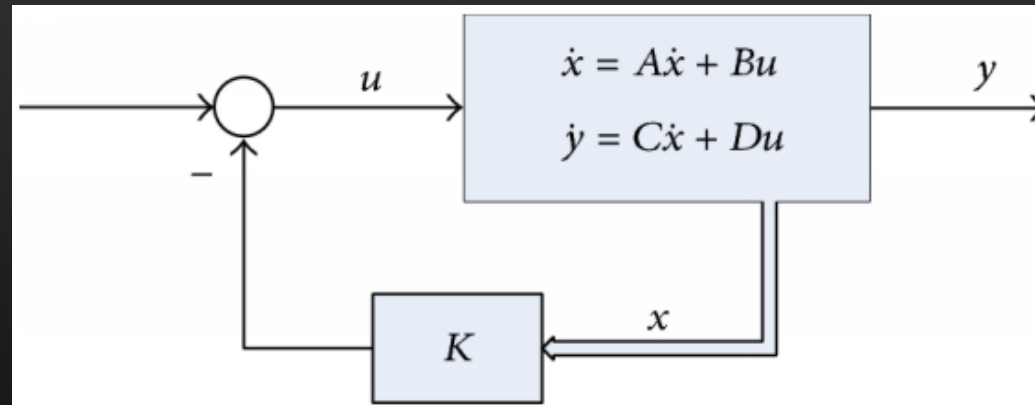


- Lead-lag 보상기



제어기를 설계하는 두 가지 방법

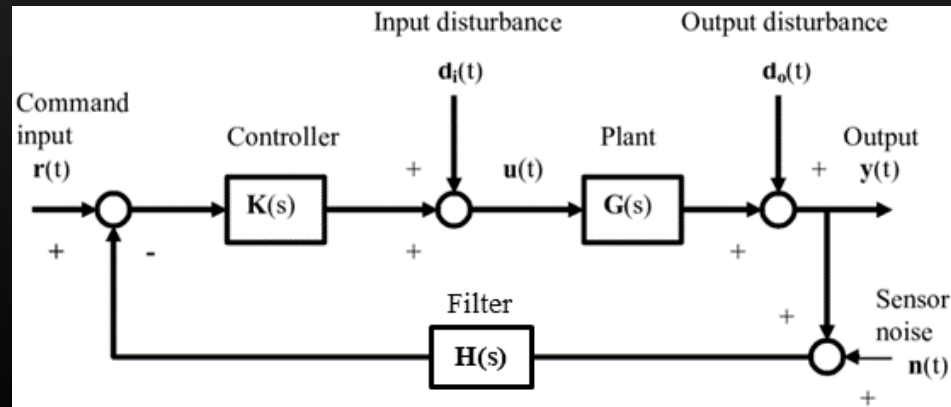
- 시간 영역
 - LQR(Linear-Quadratic Regulator) 제어기



- 주파수 영역과 시간 영역 제어기 모두 시스템 모델을 변형시켜 원하는 출력이 나오도록 유도

계측한다는 것은?

- 피드백을 사용하는 이유?
 - 안정성: 불안정 시스템을 안정하게 직접 변형(역진자 등)
 - 시스템 불확실성: 완전하지 않은 플랜트 모델을 고려(op-amp, 모터 등의 비선형 시스템)
 - 외란에 대한 강인성: 예상하지 못하거나 원치 않은 내부/외부의 입력을 극복 (비행체의 바람 등)
- 센서는 시스템의 물리적 상태 변화를 검출하여 신호로 표현
 - 엔코더, 스트레인 게이지, IMU(Inertial Measurement Unit), LIDAR(Light Detection and Ranging) 등
- 센서는 완벽하지 않으므로, 적절히 처리해주어야 함
 - 계측 노이즈나 응답속도 등을 필터로 보정

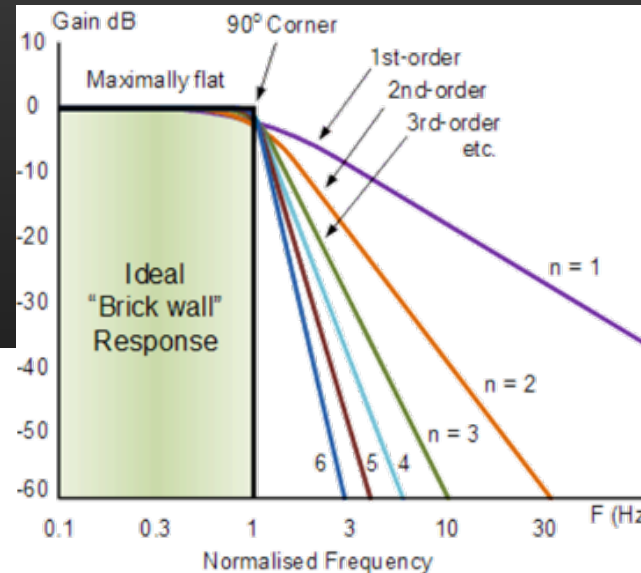


피드백에서 필터를 설계하는 두 가지 방법

- 주파수 영역

- Low-pass / High-pass Filter

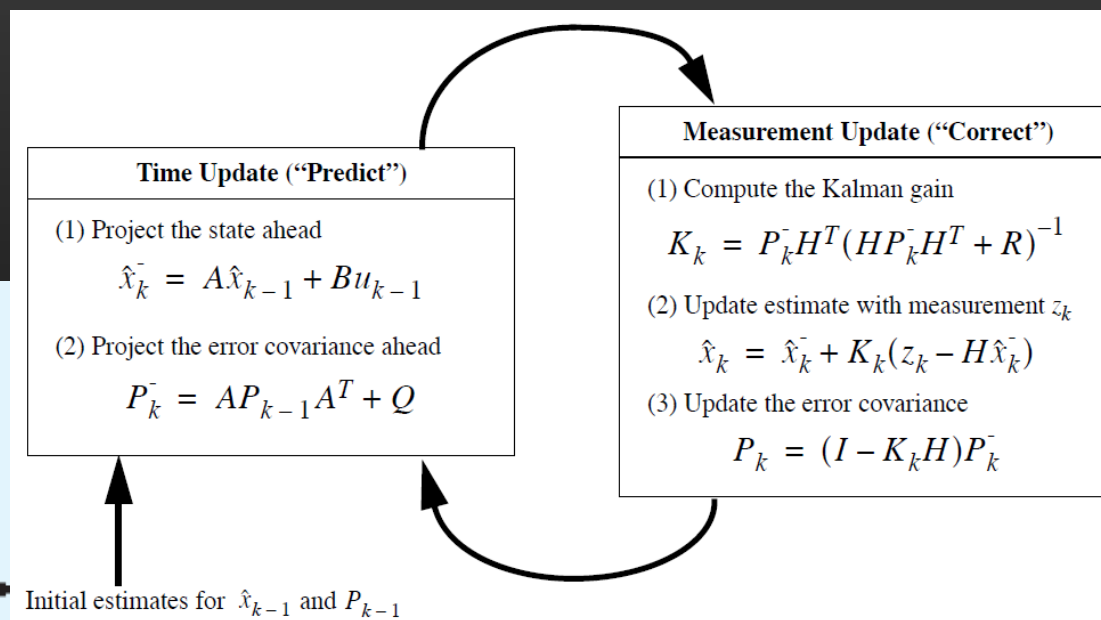
$$G(s) = \frac{G_0}{\prod_{k=1}^n \frac{1}{\omega_c} (s - s_k)}$$



- 노이즈는 일반적으로 특정한 주파수와 연관된 경우가 많아 주파수 필터를 설계하여 제거함
- Butterworth filter가 보편적임

피드백에서 필터를 설계하는 두 가지 방법

- 시간 영역
 - Kalman Filter



- 시스템 모델을 기반으로 이전 상태에서 현재 상태를 사전 추정(예측)
- 예측 후 예측 값과 사전 추정 값을 융합하여 현재 상태를 사후 추정(보정)