

ASE3093 Automatic Control: Midterm exam (2 problems, 90 minutes)

시험 시작 전, 다음의 '학생 명예선서(Honor Code)'를 답지 맨 위에 적고 서명하십시오.

“나는 정직하게 시험에 응할 것을 서약합니다.”

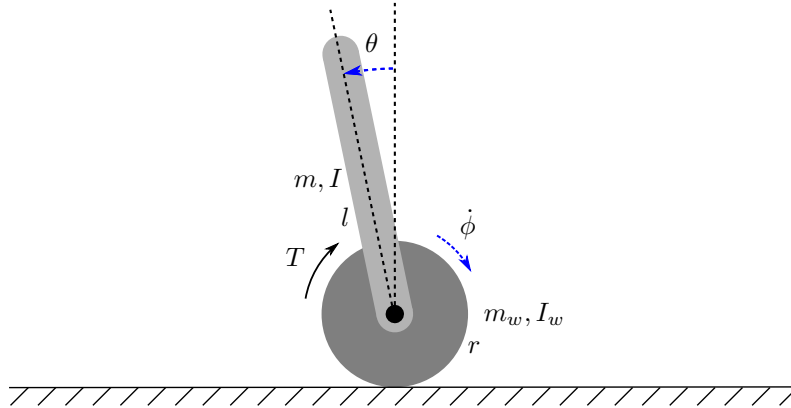
“By signing this pledge, I promise to adhere to exam requirements and maintain the highest level of ethical principles during the exam period.”

1) *Notch filter (20 points)*. 다음은 어떤 필터 시스템의 전달함수를 나타낸다 ($a > 0$).

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{s^2 + a^2}{(s + a)^2}$$

- a) 이 시스템의 입력 $u(t)$ 로부터 출력 $y(t)$ 로의 동역학을 상태공간 표현으로 (State-space representation) 기술하십시오. 상태공간 표현을 다시 전달함수로 바꿔봄으로써, 찾아낸 상태공간 표현이 옳은 것인지 스스로 확인해보시오 (8pts).
- b) 이 시스템의 주파수응답 특성에 대해 설명하십시오. 즉, 이 시스템에 $u(t) = \sin \omega t$ 가 입력되었을 때, 출력 $y(t)$ 의 진폭과 위상이 ω 가 변함에 따라 어떻게 달라지는지 가능한 한 상세히 설명하십시오 (8pts).
- c) 비행기 모델에 대한 풍동실험 중, 받음각을 서서히 증가시키며 모델에 작용하는 힘을 계측한 결과, 실험실 내부 전기적 환경에 의해 교류전압의 주파수에 해당하는 60Hz의 노이즈가 함께 섞여 계측되었다고 한다. 이 계측 신호로부터 노이즈를 제거하고 원 신호를 복원하기 위해 위의 필터를 어떻게 활용할 수 있을지 설명하십시오 (4pts).

2) *Segway (10 points)*. 막대와 휠로 이루어진 세그웨이의 동역학을 분석하고자 한다. 막대는 세그웨이 플랫폼과 탑승자를 모델링하며, 막대와 휠 사이는 제어토크 T 를 발생시킬 수 있는 모터로 연결되어 있는데, 모터는 적절한 T 를 통해 휠을 회전시키며 막대의 균형을 유지시키는 역할을 한다. 제어 모터에 적절한 신호가 공급되면, 그림에 표현된 것과 같이 휠에는 시계방향의 토크($+T$)가 작용하고, 동시에 막대에는 반력에 의한 반시계방향 토크($-T$)가 작용한다. 휠과 바닥 사이의 정지마찰계수는 충분히 커서, 휠은 미끄러지지 않고 구르기만 하는 운동을 한다고 가정한다.



- 막대의 질량: m
- 막대의 길이: $2l$ (무게중심은 한 가운데에 위치)
- 막대의 무게중심에 대한 관성모멘트: I
- 막대의 수직으로부터의 회전각: θ
- 휠의 질량과 반경: m_w, r
- 휠의 무게중심에 대한 관성모멘트: I_w
- 휠의 회전각속도: $\dot{\phi}$
- 중력가속도: g

수업 시간에 살펴본 바와 같이, 이 시스템의 동역학은 아래와 같은 미분방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I + ml^2 & -mrl \cos \theta \\ -mrl \cos \theta & I_w + (m + m_w)r^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T + mgl \sin \theta \\ T - mrl\dot{\theta}^2 \sin \theta \end{bmatrix}$$

이 세그웨이를 가속시키려면, 플랫폼의 자세 θ 가 일정한 각도 θ_{cmd} 로 유지되도록 제어 해주면 된다. 여기서 세그웨이의 제어기는, θ 를 θ_{cmd} 로 유지시키기 위한 적절한 토크 T 를 매 순간의 θ 와 $\dot{\theta}$ 계측치를 이용하여 계산해 내는 역할을 한다.

- a) 적절히 잘 설계된 제어기에 의해 플랫폼의 각도가 $\theta \approx \theta_{cmd}$ ($0 < \theta_{cmd} < \pi/4$)로 잘 유지되고 있다고 가정하자. 이 때, 이 세그웨이는 어떤 방향과 크기로 가속될까? 문제에 주어진 파라미터들로 표현하시오 (10pts).