



06  
장려상

## 미래의 공학들을 위한 진정성 있는 강의 - 로봇 공학

### 기계공학과 정윤상

추천강의명	로봇 공학
담당교수	기계공학과 김기우 교수

#### ● 나에게 좋은 강의란?

좋은 강의란 무엇일까에 대해 고민하던 찰나, 문득 대학교에 입학하고 강의를 듣는 목적에 대해 고민해보았습니다. 대학 강의의 목적은 학문적인 지식을 전달하고 학생들의 학문적, 전문적인 역량을 키우는 것이라고 생각합니다. 다양한 학문 분야에서 제공되는 대학 강의는 여러 가지 목표를 가지고 있고 제가 생각한 좋은 강의의 기준은 교수님이 실제로 이러한 목표들을 얼마나 많이 충족할 수 있는 가입니다.

#### ● 지식 전달과 이해 촉진

대학 강의는 특정 주제나 분야의 기본적인 전문적인 지식을 학생들에게 전달하는 것이 첫 번째 목표입니다. 이를 통해 학생들은 해당 분야의 기본 개념과 이론을 이해하게 되며, 전문 분야에 대한 깊은 지식을 쌓을 수 있습니다. 이때 중요한 것은 교수님의 전달력이라고 생각합니다. 난해한 내용을 학생 입장에서 얼마나 알아 듣기 쉽게 설명할 수 있느냐는 순전히 교수님의 역량이며 로봇공학 강의에서는 전공자들도 쉽게 이해하지 못했을 내용을 비전공자들도 이해할 수 있을만큼 최대한 쉽고 재미있게 설명해주셨습니다. 특히 시청각 자료들을 활용한 퀄리티 있는 수업자료들과 조교님들이 몸소 보여주신 로봇 데모는 수업을 더 잘 이해할 수 있는 데 많은 도움이 되었습니다.

#### ● 비판적 사고와 분석 능력 강화

두 번째 목표는 비판적 사고와 분석 능력 강화입니다. 강의는 학생들에게 비판적 사고와 분석 능력

을 강화하는 기회를 제공합니다. 새로운 아이디어와 관점에 논리적으로 접근하고 다양한 정보를 종합하여 문제를 해결하는 능력을 기웁니다. 이론 수업에서 배운 내용들을 실제 문제에 적용하여 공학적인 사고를 통해 문제를 해결해나간다면 두 번째 목표인 비판적 사고와 분석 능력 강화를 키우는 데 많은 도움이 된다고 생각합니다. 이러한 기대를 저버리지 않고 교수님께서서는 중간고사와 기말고사 기간에 학생들의 공학적인 능력을 필요로 하는 과제를 출제하십니다. 이를 통해 이론 내용들을 실제 문제에 접목하여 현실적인 조건에 맞게 문제를 해결할 수 있는 비판적 사고와 분석 능력을 기를 수 있었습니다.

### ● 자기주도적 학습과 연구 능력 개발

대학 강의는 학생들이 자기주도적으로 학습하고 연구하는 능력을 강화합니다. 강의 자료를 분석하고 추가적인 독자적인 연구를 통해 지식을 확장하는 경험을 제공하여 학생들이 학문적 독립성을 기울 수 있습니다. 로봇공학에서는 수학, 기초과학, 공학의 지식과 정보기술을 기계공학문제 해결에 응용할 수 있는 능력을 필요로 하기 때문에 저는 수업을 시작하기 전 부족한 부분을 스스로 파악하여 추가적으로 공부를 하는 등 능동적으로 학업성취도를 높일 수 있었습니다.

### ● 진로 및 전문성 지향

대학 강의는 학생들이 진로 및 전문 분야에 대한 흥미를 발견하고, 해당 분야에서 전문가로 성장할 수 있는 기회를 제공합니다. 산업 현장이나 연구 분야에서 필요한 실제 기술과 지식을 습득하여 전문성을 키우는 것이 중요합니다. 교수님께서서는 로봇공학에 관련된 내용 외에도 실제 필드에서 직접 겪으신 경험이나 인생을 살아가면서 느낀 중요한 배움점들을 강의에서 말해주십니다. 로봇공학에 관한 내용은 관련 서적과 논문과 같은 참고자료들을 통해 접할 수 있지만 교수님께서 인생 선배로서 학생들에게 해주신 진심어린 충고들은 어디에서도 접할 수 없다고 생각합니다. 교수님의 뜻깊은 조언 덕분에 저는 대학생으로서 앞으로 지녀야 할 마음가짐과 진로에 대한 방향성을 정확하게 잡을 수 있었습니다.

각 부분에 대해서는 추후 자세히 설명하겠습니다. 지금까지 제가 생각한 좋은 강의의 기준과 왜 김기우 교수님의 로봇공학을 좋은 강의로 선정했는지 설명했습니다. 이제는 로봇공학에 대한 간단한 소개를 시작으로 개인적으로 인상 깊었던 수업 과정에 대한 경험 사례를 위주로 설명하겠습니다.

## ● 로봇공학을 소개합니다!

로봇공학은 기계공학과 전공 선택 과목으로 중간고사 기간인 8주차를 기점으로 상반기와 하반기 각각의 학업 목표에 맞게 수업이 구성돼 있습니다.

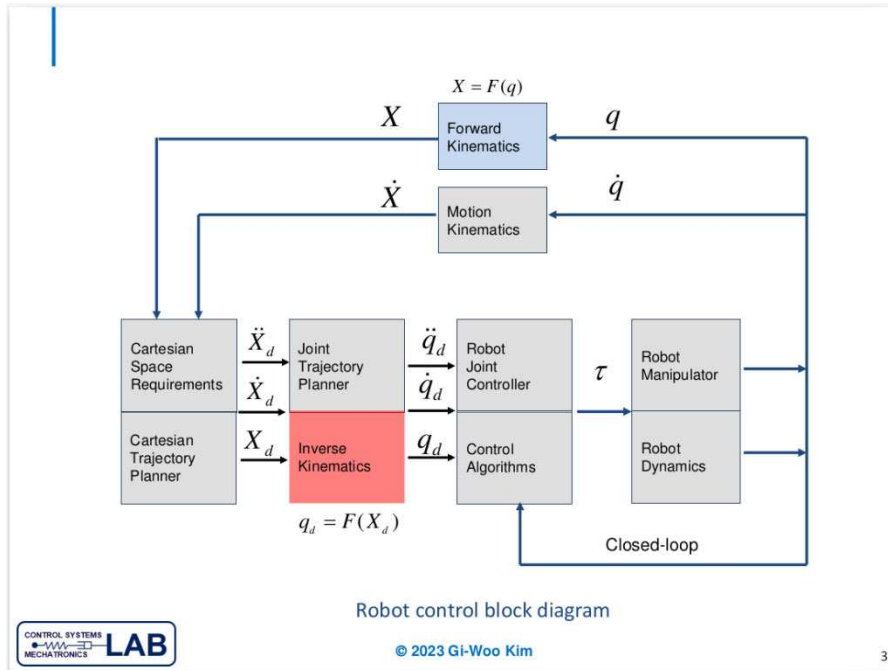
상반기에는 교수님께서 산업용 로봇에 대한 기본적인 이론(기구학, 경로 계획, 제어 등)의 이해를 목표로 수업을 진행하시며 PUMA560, SCARA 같은 산업용 로봇의 제어를 자세히 다루었습니다. 교수님께서서는 이론적인 내용을 실제 MATLAB에서 구현하는 것을 중요하게 생각하였고 실제로 관련 예제 코드 및 자료들을 업로드해주셔서 학생들이 직접 따라해보면서 수정할 수 있도록 강의노트를 구성했습니다.

하반기에는 자율 모바일 로봇에 대한 기본적인 이론을 이해하여 자율 자동차등에 응용할 수 있는 능력 학습을 배양하는 것을 목표로 수업이 구성돼있었으며 Path planning, Object detection, SLAM, Kalman-filter 등과 같이 모바일 로봇을 이해하는 데 있어 꼭 필요한 이론들을 다루었습니다. 기억에 남았던 점은 이러한 기술들을 교수님과 조교님들이 실제 강의실에서 Demo 형식으로 구현했다는 것입니다. 단순히 강의자료와 ppt를 읽으면서 수업을 하시지 않고 코드를 직접 만들어 구현했다는 점에서 교수님의 수업에 대한 열정을 알 수 있었습니다.

강의계획서의 평가기준 항목에 의하면 중간고사 30%, 기말고사 40%, 출석 10%, 과제 20%로 구성 되어있습니다. 추가로 보너스 점수라고 하여 질문에 답변, 수업에 적극적으로 참여하는 학생에게 주어지는 점수가 있는데 이는 추후 자세히 설명하겠습니다.

## ● 한 눈에 볼 수 있는 학업 목표

강의를 들을 때 정확한 목표를 세우지 않고 무작정 내용을 공부하는 것은 학업 성취도를 낮추는 대표적인 요인이라고 생각합니다. 수업 내용을 완벽히 이해하지는 못할 수 있지만 적어도 한 학기동안 무엇을 위해 공부하고 어떠한 방향으로 나아가는지에 대한 구체적인 개요를 잡아야 비로소 의미 있는 강의라고 생각합니다. 이에 대해 교수님께서서는 수업을 시작하기 전 항상 흐름도를 보여주시면서 지금까지 공부한 내용들, 앞으로 공부할 내용들, 오늘 공부할 내용을 미리 말씀해주시면서 학생들이 로봇공학이라는 드넓은 바다에서 길을 잃지 않도록 든든한 등대 역할을 해주셨습니다.



▲ 그림 1. 공부 흐름도

위 그림처럼 전체적인 로봇 제어에 대한 흐름도를 보여주시고 각 블록에 대한 간단한 설명을 통해 지난 시간 수업에 대한 리뷰를 진행하셨습니다. 다른 과목을 공부할때는 수업 내용을 복습해도 현재 공부하는 내용이 어디에 속한 것인지 헷갈릴 때가 많았는데 로봇공학에서는 교수님이 현재 위치를 정확하게 짚어주셔서 확실하게 알 수 있었습니다.

### ● 쉽게 이해할 수 있는 강의노트

앞서 말하였듯이 기본적인 전문적인 지식을 학생들에게 전달하고 이해시키는 것이 대학 강의의 첫 번째 목표이고 이를 실현시키는 것은 교수님의 역량이라고 언급했습니다. 교수님은 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 강의노트를 구성하는 것을 우선순위로 두었고 덕분에 많은 학생들이 해당 내용을 완벽히 이해할 수 있었습니다.

기억에 남는 사례를 예시로 들자면, 로봇의 자세를 결정하기 위한 inverse kinematics를 설명해주실때를 꼽아볼 수 있습니다. 로봇 팔의 자세에 따른 조인트 각도를 구할때 역탄젠트를 사용해야 하고 이때 atan가 아닌 atan2를 사용해야 하는 구체적인 이유가 담겨 있는 예시입니다.

보시는 바와 같이 해당 내용을 처음 접한 학생들도 쉽게 이해할 수 있게 간단한 문장 형식으로 설명이 되어있으며 그래프의 사분면과 같은 시각자료가 덧붙여져 있어 왜 atan2를 사용해야 하는지 쉽게 알 수 있습니다.

- atan2함수를 사용하는 이유
  - $-\pi \sim \pi$  반환
  - 점 A로부터 점 B가 상대적으로 어느 위치에 있는지를 결정
  - 상대 위치이기 때문에 x나 y가 음수가 가능

$$\theta = \text{atan2}(p_y, p_x), -\pi \leq \theta \leq \pi$$

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \arctan \frac{y}{x} & x > 0 \\ \arctan \frac{y}{x} + \pi & y \geq 0, x < 0 \\ \arctan \frac{y}{x} - \pi & y < 0, x < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & y < 0, x = 0 \\ \text{undefined} & y = 0, x = 0 \end{cases}$$

CONTROL SYSTEMS LAB  
MECHATRONICS

© 2023 Gi-Woo Kim

21

▲ 그림 2. 쉽게 이해 가능한 설명

### ● 효율적인 공부를 위한 summary

아마 대학 생활을 하면서 적게는 몇십장부터 많게는 몇백장의 슬라이드로 구성된 강의노트를 접해 보셨을 것입니다. 하지만 그 내용을 모두 이해하고 암기하는 것은 현실적인 제한으로 인해 불가능하며 저는 노트 정리와 같은 단권화를 통해 핵심 내용을 따로 작성하여 학습효과를 극대화시켰습니다. 만약 교수님께서 이러한 고충을 헤아려 별도의 summary를 만들어주신다면 많은 학생들이 보다 효율적으로 공부할 수 있겠다는 생각을 하였지만 아쉽게도 대부분의 교수님들은 이러한 생각을 미처 하지 못했던 것 같습니다.

김기우 교수님의 로봇공학 강의를 인상깊었던 점은 교수님께서 매 주차의 강의노트마다 핵심내용만을 압축 요약하여 한 눈에 알아보고 이해할 수 있을 정도의 퀄리티 있는 summary를 강의노트 마지막에 첨부하신다는 것입니다.

그림 3은 산업용 로봇의 조인트 각도에 따른 공간 변환 행렬을 의미하는 Homogenous transformation matrix 에 대한 내용의 summary입니다. 각 주차별 강의노트에는 이와 같이 요약된 내용의 summary가 제시되어 있어 저를 비롯한 다른 학생들은 보다 효율적으로 공부하여 학습효과를 높일 수 있었습니다.

- Summary
  - How to find the forward kinematics by D-H parameters
    1. Assign each axis of a motion with zi axis
    2. Assign xi axis normal to the previous zi-1 axis
    3. Complete the coordinate by the right handed rule.
    4. Find the D-H parameters and fill the table.
    5. Then obtain the homogenous transform matrix A

$$A_{i-1}^i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i s\theta_i & s\alpha_i s\theta_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\alpha_i c\theta_i & -s\alpha_i c\theta_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 6. Finally multiply all the homogenous transform matrix

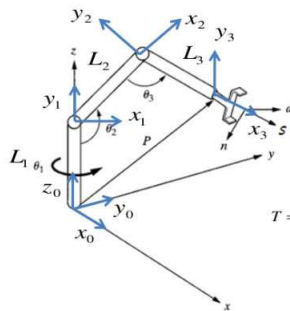
$$T_0^n = A_0^1 A_1^2 \dots A_{n-1}^n$$

▲ 그림 3. 깔끔한 Summary

## ● 다양한 예제 및 자세한 풀이

공과대학 강의의 특성상 이론을 배우더라도 이를 실제 문제에 대입하지 않는다면 정확히 이해하기 힘든 특징이 있습니다. 교수님께서서는 이 점을 해결하기 위해 매우 다양한 예제를 첨부해주시며 수업 시간에 학생들의 이해를 돕습니다.

### • Example 4: Three link rotary manipulator



D-H Parameters

Joint i	$\theta_i$	$\alpha_i$	$a_i$	$d_i$
1	$\theta_1$	90	0	$L_1$
2	$\theta_2$	0	$L_2$	0
3	$\theta_3$	0	$L_3$	0

$$T = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 & c_2 & -s_2 & 0 & L_2 c_2 & c_3 & -s_3 & 0 & L_3 c_3 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 & s_2 & c_2 & 0 & L_2 s_2 & s_3 & c_3 & 0 & L_3 s_3 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) & -c_1(c_2 s_3 + s_2 c_3) & s_1 & c_1(L_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) + L_2 c_2) \\ s_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) & -s_1(c_2 s_3 + s_2 c_3) & -c_1 & s_1(L_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) + L_2 c_2) \\ s_2 c_3 + c_2 s_3 & s_2 s_3 - c_2 c_3 & 0 & L_3(s_2 c_3 + c_2 s_3) + L_2 s_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 & c_1(L_1 c_{23} + L_2 c_2) \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 & s_1(L_1 c_{23} + L_2 c_2) \\ s_{23} & c_{23} & 0 & L_3 s_{23} + L_2 s_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\because c_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3) = c_2 c_3 - s_2 s_3$$

$$\because s_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3) = s_2 c_3 + c_2 s_3$$

▲ 그림 4. DH Parameter Table 예제

위 예제는 Three link rotary manipulator의 DH Parameter를 채우는 예제입니다. 보시는 것과 같이 구체적인 풀이과정이 첨부되어 학생들이 이해하기 쉬운 가독성 높은 자료를 접할 수 있습니다.

이 외에도 주목할 점은 바로 상세한 풀이과정입니다. 여러분이 공과대학 학생이라면 전공서적의 솔루션을 한 번 쬐은 접해봤을 것입니다. 하지만 간혹 풀이가 매우 불친절하거나 아예 첨부되어있지 않아 적잖이 당황한 경험이 있으실 것입니다. 교수님께서서는 이러한 고충을 해결하기 위해 모든 예제에 기본적인 풀이 및 추가적인 설명을 덧붙여서 학생들의 고민을 해결하기 위해 노력하셨습니다.

• Example 2: Two link planar (2D) manipulator

D-H Table

Joint $i$	$\theta_i$	$\alpha_i$	$d_i$	$a_i$
1	$\theta_1$	0	0	$l_1$
2	$\theta_2$	0	0	$l_2$

변환 행렬  
 1) 0번 기준 좌표에서 1번 링크로 변환 행렬  
 → Z축 중심의 회전 ( $\theta_1$ )과 X축 방향으로  $l_1$ 만큼 이동

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} R(\theta_1) & T(l_1, 0, 0) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & l_1 c\theta_1 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & l_1 s\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 1번 링크에서 2번 링크로 이동

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} R(\theta_2) & T(l_2, 0, 0) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & l_2 c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & l_2 s\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CONTROL SYSTEMS LAB © 2023 Gi-Woo Kim

▲ 그림 5. 자세한 풀이 1

3) 최종 변환 행렬

$$T_2^0 = A_1^0 A_2^1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & l_1 c\theta_1 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & l_1 s\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & l_2 c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & l_2 s\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta_1 c\theta_2 - s\theta_1 s\theta_2 & -c\theta_1 s\theta_2 - s\theta_1 c\theta_2 & 0 & c\theta_1 l_1 + c\theta_1 c\theta_2 l_2 - l_2 s\theta_1 s\theta_2 \\ c\theta_1 s\theta_2 + c\theta_1 s\theta_1 & c\theta_1 c\theta_2 - s\theta_1 s\theta_2 & 0 & s\theta_1 l_1 + c\theta_1 s\theta_1 l_2 + l_2 s\theta_1 c\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

where  $c\theta_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2) = \cos\theta_1 \cos\theta_2 - \sin\theta_1 \sin\theta_2$   
 $s\theta_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2) = \sin\theta_1 \cos\theta_2 + \cos\theta_1 \sin\theta_2$

CONTROL SYSTEMS LAB © 2023 Gi-Woo Kim

▲ 그림 6. 자세한 풀이 2

보시는 바와 같이 상세한 풀이를 추가하여 최종 변환 행렬이 어떻게 구해지는지 그 과정을 다루었으며 Forward Kinematics와 변환 행렬 두 부분을 가시화하시는 등 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 강의자료를 구성하였습니다.

## ● 코드 업로드

로봇공학의 특성상 행렬 계산 및 그래프 출력이 많이 쓰이기 때문에 MATLAB을 이용한 이론 내용 적용이 필수불가결입니다. 교수님은 이 점에 착안하여 이론 설명 혹은 예제 풀이 보충에 코드를 올려 주십니다. 코드를 MATLAB에서 돌려봄으로써 이론이 어떻게 적용되는지와 그래프 출력을 통해 데이터를 시각화하여 오차를 한 번에 파악할 수 있습니다.

- Suppose we want to model a vehicle driving in a straight line
- State consists of the vehicle position  $p$  and velocity  $v$
- Control input: acceleration  $u$  and sample the position every  $T$  seconds
- Assumptions
  - Measurement signals are assumed to be fitted to normal distribution
  - Process and measurement noise are independent each other

$$v = v_0 + at$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

discretized

$$v_k = v_{k-1} + T u_{k-1} + W_k$$

$$p_k = p_{k-1} + T v_{k-1} + \frac{1}{2} T^2 u_{k-1} + W_k$$

$$x_k = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \end{bmatrix}$$

$$x_k = A x_{k-1} + B u_{k-1} + W_k$$

$$z_k = [1 \ 0] x_k + V_k$$

- The position is measured with an error of 15 feet
- The commanded acceleration is constant 1 foot/s<sup>2</sup>
- The acceleration noise is measured by 2 feet/s<sup>2</sup>
- The position is sampled 10 times per second ( $T=0.01$ )

▲ 그림 7. 칼만 필터 예제

```

%-----Initialization-----
duration = 20;
dt = 0.01;
LENGTH = duration/dt;
DIM = 2;
Est = [];
Cost1 = [];Cost2 = [];Cost4 = [];
Z = [];
True = [];
Gain = [];

%-----System matrix-----
A = [1 dt; 0 1]; %Transition matrix
B = [dt^2/2; dt];
H = [1 0]; % measurement matrix
x = 0;
p = [0; 0]; %Previously estimated state
mnoise = 15; % position measurement noise (feet)
anoise = 2; % acceleration noise (feet/sec^2)
Q = [0.005^2*anoise^2 0.005*0.1*anoise^2; 0.005*0.1*anoise^2 0.1^2*anoise^2];
P = [2 2; 2 2];
  
```

▲ 그림 8. 칼만 필터 예제 코드

```

%-----Measurement noise covariance-----
R = mnoise^2;

%-----Recursive algorithm loop-----
for k=0:dt:duration;
    u = 1;
    ProcessNoise = anoise * (randn * [(dt^2)/2; dt]);
    x = A*x + B*u + ProcessNoise;
    MeasNoise = mnoise * (randn);
    Zk = H*x + MeasNoise;

    % estimate step:
    x_k = A*p + B*u;
    P_k = A*P*A+Q;

    % correction step:
    K = P_k*H'*(H*P_k*H'+R)^-1;
    p = x_k + K*(Zk - H*x_k);
    %P = eye(DIM) - K*H'*P_k;
    P = P_k - Q - (P_k*P_k)/(R + H*P_k*H'); % Different form
  
```

▲ 그림 9. 칼만 필터 예제 코드

```

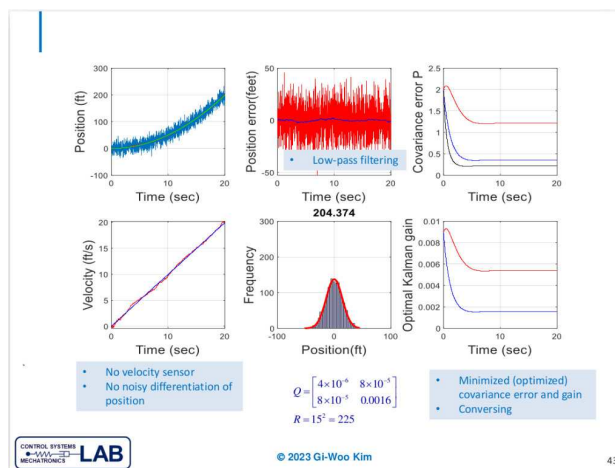
True = [True x];
Est = [Est p];
Cost1 = [Cost1 P(1)];
Cost2 = [Cost2 P(2)];
Cost4 = [Cost4 P(4)];
Z = [Z Zk];
Gain = [Gain K];

end
True = True'; Z = Z'; Est = Est'; Cost1 = Cost1'; Cost2 = Cost2'; Cost4 = Cost4'; Gain = Gain';

%-----Plotting-----
t=0:dt:duration;
figure;subplot(2,3);
plot(t(1:length(t)),Z);
hold;plot(t(1:length(t)),Est(1:length(t)), 'r');
plot(t(1:length(t)),True(1:length(True)), 'g');
grid;
xlabel('Time (sec)', 'fontSize', 14);
ylabel('Position (ft)', 'fontSize', 14);
  
```

▲ 그림 10. 칼만 필터 예제 코드

위 그림은 칼만 필터를 이용해 차량의 위치와 속도를 추정하는 예제와 MATLAB 코드입니다. 위 코드를 MATLAB에 실행시켜 얻은 시간에 따른 위치 속도 추정 결과는 다음과 같습니다.



▲ 그림 11. 추정 결과

보시는 바와 같이 노이즈, 오차, 최적화 결과를 얻을 수 있습니다.



## ● 보너스 점수

좋은 강의는 학생들로 하여금 스스로 공부하고 질문하며 끊임없이 사고하게끔 하는 강의라고 생각합니다. 김기우 교수님은 다른 강의에서 도입하지 않은 새로운 시스템인 "Bonus" 시스템을 적용하여 학업성취효과를 높였습니다.

Bonus 시스템이란 질의응답, 획기적인 질문, 강의노트 오타 수정과 같이 활발하게 수업에 임하는 학생들을 더욱 장려하는 시스템으로 최종 점수에 적용되는 것이 아닌 학점 등급 변동에만 적용이 되는 시스템입니다.

- Bonus: (10~30)\*0.2 : 일괄 부여가 아니라 성적 이동 가능시에만 적용

이로 인해 수업 연습, 복습 및 학생들의 적극적인 수업 태도 유도과 같은 긍정적인 효과를 보였습니다. 실제로 같이 스터디를 진행한 학우들에 의하면 연습을 통해 진도 나갈 부분을 미리 공부해 더 넓은 사고와 통찰력으로 수업에 임하고 수업이 끝난 후에도 강의노트를 다시 한 번 꼼꼼하게 정독하면서 복습 효과를 가져갈 수 있었다고 했습니다.

## ● 다양한 범위의 주제 공부

중간고사 이후 부분은 mobile robot에 대한 내용을 다루었습니다. 교수님은 학생들로 하여금 다양한 분야를 접해보고 흥미가 있는 부분에 대해서 개인적으로 심도 있게 공부하는 것을 추천하셨습니다. 실제로 매주 로봇공학의 각 분야에 대해 강의해주시며 학생들의 흥미를 돋굴만한 다양한 로봇 분야를 소개해주셨습니다.


강의주제	모바일 로봇 소개
9 강의내용	1. Introduction to Mobile Robot 2. Mobile Robot Kinematics
시험과제	
강의주제	모바일 로봇 인지 기술 (Perception) -1
10 강의내용	1. Sensors for Mobile Robots 2. Fundamentals of Image Processing and Computer Vision 3. Object Detection and Tracking
시험과제	
강의주제	모바일 로봇 인지 기술 (Perception) -II: 측위 (Localization)
11 강의내용	1. 측위 기술 소개 2. GPS, Dead Reckoning, Sensor Fusion etc
시험과제	
강의주제	주행 Decision
12 강의내용	1. Path Planning (Global, Local) and Navigation 2. Obstacle Avoidance 3. SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 소개
시험과제	
강의주제	주행 제어 (Control)
13 강의내용	1. Path Tracking Control of Mobile Robots : Pure Pursuit Path tracking etc 2. Path Tracking Control of Autonomous Vehicles 3. Path Tracking Control: Model Predictive Control (optional)
시험과제	
강의주제	Mobile Robot 소개
14 강의내용	1. Fundamentals of ROS (Robot Operating System) 2. Basics of Mechatronics for Robotics: Sensors and Actuators (Servo Motors), Demo, and Embedded Controller
시험과제	


개인적으로 교수님의 강의 방식이 인상 깊었던 점은 로봇틱스는 다양한 분야가 접목되어 있는 학문이기 때문에 각 분야의 매력적인 특징을 접할 수 있었다는 것입니다. 기계공학과에서는 접할 수 없었던 새로운 분야의 학문을 로봇공학을 통해 배울 수 있었다는 점이 매우 인상깊었습니다.

## ● 시험 대비

교수님께서 시험 전 시간에 학생들이 중간고사와 기말고사에 대비할 수 있도록 Exam Review를 진행하십니다. 교수님께서 리뷰를 해주신 결과 부족한 부분을 파악하고 핵심 내용을 집중적으로 공부하여 시험에서 고득점을 얻을 수 있었습니다.

8주차 [10월16일 - 10월22일]

 Trigonometric Formula

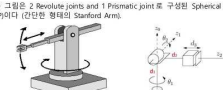
 Midterm Exam Review (update)

## ● 이론을 적용해 볼 수 있는 과제

좋은 강의는 학생들로 하여금 비판적 사고와 분석 능력을 강화하는 기회를 제공합니다. 교수님께서 중간고사와 기말고사 기간에 각각 과제를 출제하셔서 학생들의 공학적인 능력을 극대화시킬 기회를 마련해드립니다. 또한 교수님께서 공부나 과제를 스터디 그룹 형식으로 수행하시는 것을 추천하여 집단 지성을 최대한 활용해 비판적 사고와 분석 능력을 향상시킬 것을 권장하였습니다.

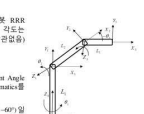
Home Work Assignment #1 2023 Fall, Introduction to Robotics  
Assigned: 2023.09.22 12:00, Deadline: 2023.10.09 09:00

1. 다음 그림은 2 Revolute joints and 1 Prismatic joint 로 구성된 Spherical Manipulator (RRP)이다 (2단만 형태에 Starboard Arms).



- D-H Parameter를 정의해 D-H Table 을 그려라 (10 점)
- Homogenous Transform Matrix 및 Forward Kinematics 를 구하라 (10점)
- Jacobian Matrix 를 구하고  $\mathbf{q} = [0, \pi/4, \pi/2]^T$  에서 Jacobian이 역행렬이 될지 결정하시오 (10점)

2. 다음 그림은 회전축이 3개인 선형 로봇 RRK Manipulator이다. 선형에 초점의 위치는 회전축이므로  $\mathbf{a}$  로 상정해도 상관없음)  $\mathbf{a}_1=0, \mathbf{a}_2=L, \mathbf{a}_3=0, \mathbf{d}_1=0, \mathbf{d}_2=L, \mathbf{d}_3=0$  이다



- Forward Kinematics 를 구하라 (10점)
- End effector 의 위치로부터 3개의 Joint Angle 을 계산할 수 있도록 Inverse Kinematics 를 구하라 (10점)
- Jacobian matrix 를 구하고,  $\theta = [30^\circ, 45^\circ, -60^\circ]$  일 때 End Effector 의 속도에 가장 큰 영향을 주는 Joint를 결정하시오. (10점)
- Manipulator 가 경로를  $\mathbf{p}_t = [x, y, z]^T$  를 따라 움직이도록 Inverse Kinematics 를 통해 3개의 조인트 각  $\theta_t = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]^T$  을 계산하는 코드를 완성하시오. NeoLearner 에서 제공한 MATLAB Code 를 수정하여 동역학을 제외한 후 같이 제출하시오. (40점)

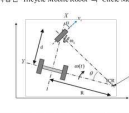
Fall 2023 HW #1 Introduction to Robotics : Gi Woo Kim

Home Work Assignment #2 2023 Fall, Introduction to Robotics  
Assigned: 2023.11.12 12:00, Deadline: 2023.11.27 09:00


1. Lecture 8에서 제공한 MATLAB Code를 수정하여 Tricycle Drive 에 대한 Kinematic 를 사용한 Tricycle Mobile Robot 의 Circle Motion을 시뮬레이션 하시오 (Video 제출) (30점)

$$\dot{x}(t) = v_c \cos(\theta(t)) \cos(\theta(t))$$

$$\dot{y}(t) = v_c \cos(\theta(t)) \sin(\theta(t))$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{v_c \omega_c}{r}$$


2. 다음 그림은 스테레오 카메라로 촬영한 Left, Right 이미지가이다. 제공한 MATLAB code (prob.2.m) 를 디버깅하여 Depth 정보를 주를 (3D plot)에 표시시오 (20 점)



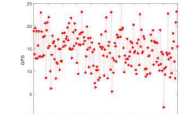
3. 다음 그림은 GPS receiver (Mat(PS,mat)의 측정 신호이다. 제공한 Kalman Filter 에 대한 MATLAB Code (prob.3.m)를 완성 하여 결과를 제출하시오. (777)부분을 Lecture Note를 참조하여 조우 수정 (debugging) 하시오. GPS 측정 신호에 대한 시스템 모델은 다음과 같이 단순화 ( $w_k = Q=0$ ) 하였다.

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{v}_k$$

GPS 신호는 일정해야 하며 ( $x_k = 14$ ) 평균 분포를 나타내는 Gaussian Noise ( $\mathbf{v}_k = N(0, \Sigma)$ ), 평균=0, 표준편차 2)가 포함되었다. 이때  $\Sigma$  는 적절하게 가정.

Fall 2023 HW #1 Introduction to Robotics : Gi Woo Kim

Home Work Assignment #3 2023 Fall, Introduction to Robotics  
Assigned: 2023.11.12 12:00, Deadline: 2023.11.27 09:00



- 추정된 위치를 GPS Receiver 신호와 비교한 결과를 Plot하고 제출하시오 (Animation video) (25점)
- 모든 공분산 P와 알려진 Gain K 에 대한 시간에 대한 Convergence History 를 Plot 하시오 (25점)
- Bonus: GPS 신호와 추정된 신호의 확률밀도함수 (Probability Density Function) History 를 그려라. (제공된 PDE가 주어짐) (20점)

Fall 2023 HW #1 Introduction to Robotics : Gi Woo Kim

저 역시 교수님의 조언에 따라 총 4명으로 구성된 스터디그룹을 만들어 과제 풀이를 진행했고 여러 의견 종합과 토론을 통해 비판적 사고와 분석 능력 강화라는 두 마리 토끼를 잡을 수 있었습니다.

## ● 이론 내용 시연

이론 내용만을 공부하다보면 해당 개념이 와닿지 않을 때가 많습니다. 저 역시 원리와 개념은 이해하지만 해당 내용이 실제로 어떻게 적용이 되는지 몰랐던 적이 많았습니다.

교수님께서서는 수업이 끝나기 15분 전 강의에서 알려주신 내용이 실제로 어떻게 구현되는지 시연을 통해 직접 보여주십니다. 이론 내용만을 공부할때와 다르게 눈 앞에서 직접 시연을 해주셔서 더욱 기억에 남을 수 있었습니다.



## ● 신속한 피드백

여러분들은 한 번쯤 공부를 하시면서 이해가 되지 않는 내용 때문에 많은 고민을 했던 경험이 있으실 것입니다. 저 역시 이러한 점 때문에 스트레스를 받은 적이 한 두 번이 아니었습니다. 궁금증을 해결하기 위해 I-class의 Q&A 항목과 메일을 이용한 적도 있었지만 대부분의 경우 교수님들이 답변을 해주지 않으시거나 매우 늦게 답변해 주셨습니다.

이와 반대로 김기우 교수님께서서는 타의 추종을 불허하는 신속한 피드백으로 최대한 학생들의 편의를 도모해주셨습니다. 저는 로봇공학을 수강하면서 교수님께 정말 많은 양의 내용을 질문했는데, 교수님께서서는 매번 한 두 시간 내외로 답변을 해주셨습니다. 이러한 점에서 학생들을 위하는 마음과

수업에 대한 열정을 느낄 수 있었습니다.

### ● 로봇공학을 추천합니다!

솔직히 로봇공학을 수강하기 전, 기대와 설렘에 앞서 걱정이 많았습니다. 제가 로봇공학을 들은 학기가 교수님께서 처음으로 로봇공학 강의를 개설한 학기인 관계로 강의 후기나 자료들을 접할 수 없었기 때문입니다. 하지만 기계공학도로서 로봇공학을 접할 수 있는 기회는 흔치 않았기에 교수님의 로봇공학 강의를 수강했습니다.

걱정과 달리 교수님께서 학생들이 로봇공학에 대한 흥미를 잃지 않도록 많은 노력을 기울이신 덕분에 매우 재미있고 알차게 로봇공학을 공부할 수 있었던 것 같습니다. 단순히 이론 내용을 공부하는 것 뿐이 아닌 공학도로서 꼭 갖춰야 할 비판적 사고와 분석 능력, 공학적 사고 능력을 함양하는 데도 큰 도움을 주셨습니다.

수업 내용 외에도 교수님은 자신의 인생 경험을 바탕으로 한 진심어린 충고와 조언도 아끼지 않으셨습니다. 교수님 덕분에 진정한 공부를 해야 하는 이유와 앞으로 어떤 마음 가짐으로 인생을 나아가야 할지 알게 되었습니다.

교수님의 로봇공학 강의를 통해 저는 로보틱스라는 매력적인 학문에 대해 다시 한 번 확고한 뜻을 가지고 로봇공학자가 되기 위해 진로에 대한 방향성을 확실히 잡을 수 있었습니다. 여러분이 로봇공학에 관심이 있거나 한 번쯤은 접해볼 생각이 있으시다면 꼭 김기우 교수님의 로봇공학 강의를 들어보시길 바랍니다.

마지막으로 항상 열정적으로 퀄리티 높은 내용의 강의를 해주시고 진심으로 학생들을 위해 노력해주신 김기우 교수님께 감사의 말을 올립니다.

## 소감 및 교수님이 직접 이야기 해주시는 강좌의 POINT!

# 영화 Wall-E에 나오는 로봇을 연구하는 로봇 공학자가 많이 등장하길 간절히 바라며



작성자	담당과목
기계공학과 김기우 교수	로봇 공학

### ● 소감

저는 기계공학과에서 자동제어/계측공학을 강의하고 있는 김기우 교수입니다. 지난 학기 ‘로봇 공학’ 강의를 정년 퇴임하신 교수님으로부터 넘겨받아 처음 강의하였음에도 불구하고 비교적 좋은 강의 평가를 해 준 모든 수강생, 그리고 수업에 대한 평가를 잘 정리하여 “인하 좋은 강의 에세이전”에 공모하여 장려상을 받은 정운상 학생 진심으로 고맙고, 다시 한번 축하합니다.

평소에 교수는 연구하는 학자이기 전에 가르치는 선생의 역할에 더 충실해야 한다는 저의 교육 철학이 작게나마 좋은 결과를 맺어 매우 보람을 느끼며 이번에 받은 강의 평가를 앞으로 계속 유지 또는 개선해야 한다는 사명감도 생깁니다. 정운상 학생은 항상 강의실 맨 앞줄에 앉아서 수강하고 귀찮을 정도로 질문을 많이 했던 학생으로 기억하는데 에세이를 읽어보면서 강의에 대한 큰 관심 및 열정을 느꼈습니다. 비록 저의 강의 철학을 잘 이해한 상태에서 에세이를 작성했다는 인상을 받았지만, 강의에 관한 관심과 이해도를 조금 더 높일 수 있는 보충 설명을 간단하게 해 보도록 하겠습니다.

### ● 새로운 로봇 공학 강의를 준비

“로봇 공학” 과목은 기계공학과에서 4학년 학생을 대상으로 2학기에 개설하는 전공 선택 과목으로, 그동안 몇 년 전 정년퇴임 하신 최승복 교수님이 강의해 오시다가 이번에 제가 처음으로 강의를 했는데 가장 큰 차이점은 이전 강의는 Industrial Robot Manipulator를 한 학기 동안 강의했다면 이번 강의는 최신 로봇 공학 동향을 적극적으로 반영하여 기존 Robot Manipulator에만 집중된 강의에 Mobile Robot을 추가하여 중간고사 이후 7주 동안 강의를 진행한 점이다. Mobile 로봇 공학을 통

해 4차산업의 키워드인 자율 주행 (Autonomous Driving) 자동차, 딥러닝 (Deep Learning) 기초, 각종 첨단 센서에 대한 소개도 이루어지며 학생들의 관심을 자연스럽게 유도하려고 했던 강의 목적도 달성할 수 있었던 것 같습니다.

전반적으로 2개 분야 모두 학부생에게는 다소 어려운 내용이라 강의에 대한 이해도가 떨어질 수도 있다는 걱정도 많았지만, 평소 대학생은 강의를 통해 “넓고 얇은 지식을 추구”해야 한다는 나만의 강의 철학을 굳게 믿고 다수의 참고 교과서와 전공 서적 (아래 그림 참조)을 2년 전부터 꾸준히 검토하면서 저만의 강의 자료 (Lecture Note)를 준비하였습니다.



강의 자료를 준비하면서 처음에는 역시 엄청난 강의 난이도 때문에 “어떻게 하면 이해하기 쉬운 강의를 할 수 있을까” 고민도 엄청 많이 했던 것 같습니다. 예를 들면, 전기/전자공학과대학원 과정에서 주로 사용하기 때문에 기계공학과 학부 학생들에게는 너무나 생소하게 느껴질 “칼만 필터 (Kalman Filter)”입니다. 제 전공 연구 분야이기 때문에 나는 쉽게 이해하고 있지만, 이 어렵고 생소한 내용을 학부 학생이 이해할 수 있을지 강한 의문도 들었죠. 결국 많은 준비 끝에 강의를 통해 기계공학과 학부 학생도 칼만 필터를 충분히 이해할 수 있다는 확신이 들었고 평가를 통해 어느 정도 내 판단에 대한 타당성을 확보한 것도 저에게는 큰 소득입니다.

제가 강의를 통해 가장 주안점을 준 내용은 어려운 내용을 쉽게 설명하는 것 외에도 여건상 실습은 하지 못하더라도 간단한 데모 (Demo) 영상을 통해서라도 강의 내용에 대한 이해도를 높이려고 한 점입니다. 모든 데모는 영상 (Vedio)으로 제작하여 Youtube에 업로드하여 수강생뿐만 아니라 모든 기계공학과 학생이라면 쉽게 접근하여 시청할 수 있도록 하였는데 앞으로도 지속해서 수업 관련 영상을 제공할 계획이며 다음 학기에는 강의, 학습 및 숙제에 필요한 모든 코드 및 Robot Operating System (ROS)에 대한 자료를 GitHub에 오픈할 계획입니다.

## ● 소감을 마치며

개인적으로 개강일 강의 계획서를 설명하면서 소개한 장면 애니메이션 SF 영화 Wall-E (2008)를 매우 좋아합니다. 이 영화는 쓰레기 더미에 파묻힌 미래의 지구에 홀로 남겨진 청소 로봇 Wall-E와 식물을 탐색하기 위해 지구에 온 탐사 로봇 이브가 주인공으로, 로봇의 우정이라는 소재를 영화 음악과 뛰어난 영상미로 잘 표현하여 감동을 준 영화이지만 엔지니어의 관점에서 보아도 기술적으로 미래에 충분히 등장할 만한 완성도를 지닌 두 로봇의 이야기라 높은 평가를 받았습니다.

안타까운 점은 이제 저는 나이가 많아 SF 영화에 등장하는 로봇을 실제 만들어볼 실력도 시간도 이제 충분하지 않습니다. 수강생 대부분이 20대 중반일 테니 세계적인 로봇 공학자가 되어 수업 시간에 배운 내용을 실현해 볼 시간, 가능성이 충분하니 영화 Wall-E에 등장하는 로봇을 연구하는 로봇 공학자의 길을 반드시 도전해 보기를 강력히 추천합니다.

마지막으로, 강의 준비를 헌신적으로 도와준 강의 조교와 연구실 대학원생에게도 감사를 표하며 2학기 새로운 강의를 기대하면서 글을 마칩니다.

