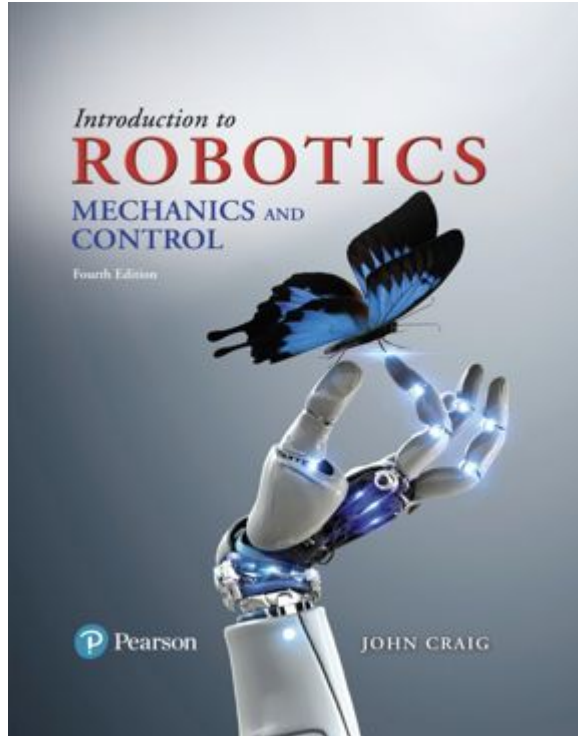


Introduction to Robotics

Mechanics and Control

4th Edition



Chapter 1 Introduction

강의 순서

1장: 소개

2장: 3차원 공간 내에서의 위치와 방위

3장, 4장: 머니플레이터 기구학

5장: 머니플레이터의 속도와 **static force**

6장: 머니플레이터의 동역학

7장: 공간상의 궤도(궤적) 표현

8장: 머니플레이터 설계

9장, 10장: 머니플레이터 제어

11장: 머니플레이터 힘제어

→ 실습은 **MATLAB**을 주로 사용. 시간이 허락하면 **ROS** 활용

Figure 1.4

A modern 7 degree-of-freedom robot.



Image courtesy KUKA Roboter GmbH.

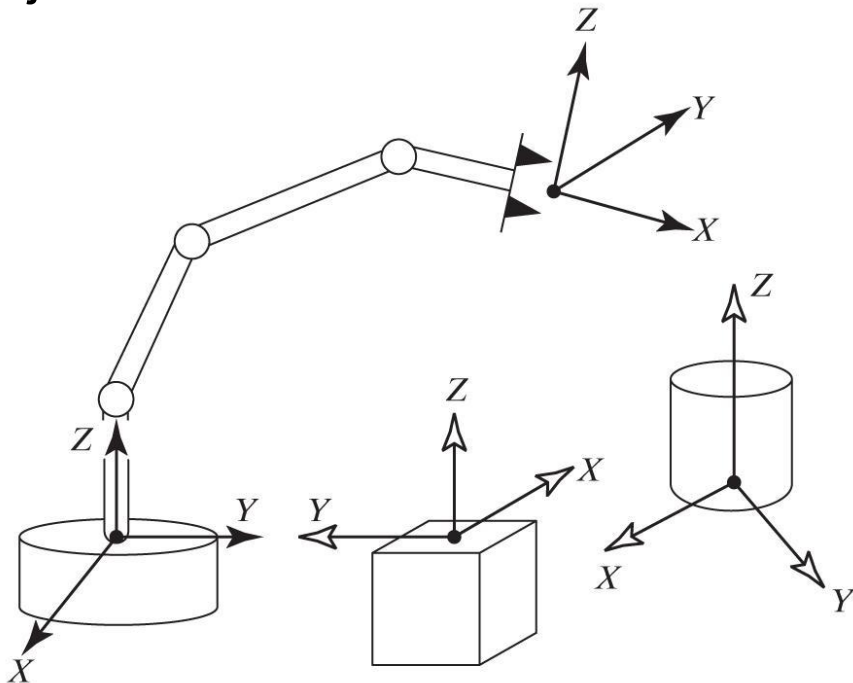
Meet 'Iceman' and 'Wolverine' —
the 2 coolest robots in Tesla's
factory

1.2 중요한 개념과 용어

- 위치(position)와 방위(orientation)
- 좌표계 혹은 계(frame)

Figure 1.5

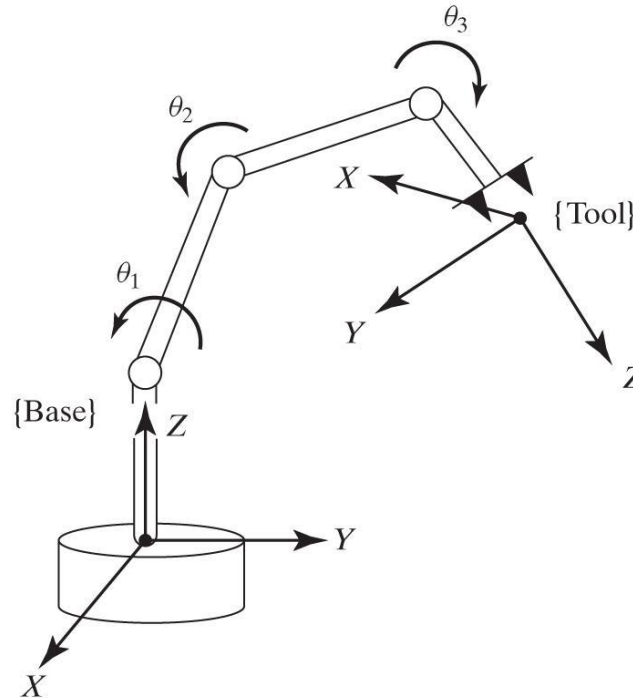
Coordinate systems or “frames” are attached to the manipulator and to objects in the environment.



- **기구학**: 운동을 일으키는 힘을 고려하지 않으면서 운동을 취급하는 과학임. 위치, 속도, 가속도와 위치 변수의 (시간 또는 다른 변수에 관한)고차미분을 공부함
- 링크(link)
- 관절(joint)
 - 회전관절(revolute joint) → 관절각(joint angle)이 변함
 - 프리즘관절(prismatic joint) → 전위(translation) 혹은 관절 오프셋(joint offset)이 변함
- 자유도(degree of freedom): 어떤 물체의 상태를 최소한으로 표시하는 독립된 변수
- 말단효과장치(end-effector)
- 머니플레이터의 **정방향 기구학(forward kinematics)**: (1)머니플레이터의 말단 효과 장치의 위치와 방위를 계산하는 정적인 기구학. (2)한 세트의 관절각이 주어졌을 때 기초계(base frame)에 대한 공구계(tool frame)의 위치와 방향을 계산하는 것. (3)관절공간(joint space)에서 표시한 것을 직교좌표 공간(Cartesian space)으로 바꾸는 것.

Figure 1.6

Kinematic equations describe the tool frame relative to the base frame as a function of the joint variables.



- **역기구학(inverse kinematics)**: 머니플레이터 말단 효과 장치의 위치와 방위가 주어졌을 때, 이렇게 주어진 위치와 방위를 얻기 위해 사용할 수 있는 모든 가능한 관절각을 구하는 것 → 머니플레이터에서 가장 중요한 요소
 - 3차원 직교 공간의 위치에서 로봇의 내부적인 관절 공간의 위치로 매핑(mapping)하는 것
 - 기구학 방정식이 비선형이기 때문에 이것의 역을 구하는 것은 쉽지 않고, 해가 없을 수도 있음. 유일하지 않을 수도 있음(해가 너무 많을 수도 있음)
 - (그림 1.7 참조)
- **작업공간(work space)**: 기구학의 해가 존재하는 공간
- **자코비안(Jacobian)**: 정적인 위치를 다루는 것에 덧붙여 운동 중(속도가 있는)인 경우의 해석에 사용하는 행렬 값. 관절 공간에서의 속도를 직교좌표 공간의 속도로 매핑하는 것 (그림 1.8 참조)
 - 머니플레이터의 자세가 변하면 같이 변함(상수가 아님)
 - 작업물을 접촉하거나 **static force**를 작용해야 할 때 필요한 관절 토크(joint torque) 계산에도 필요함

Figure 1.7

For a given position and orientation of the tool frame, values for the joint variables can be calculated via the inverse kinematics.

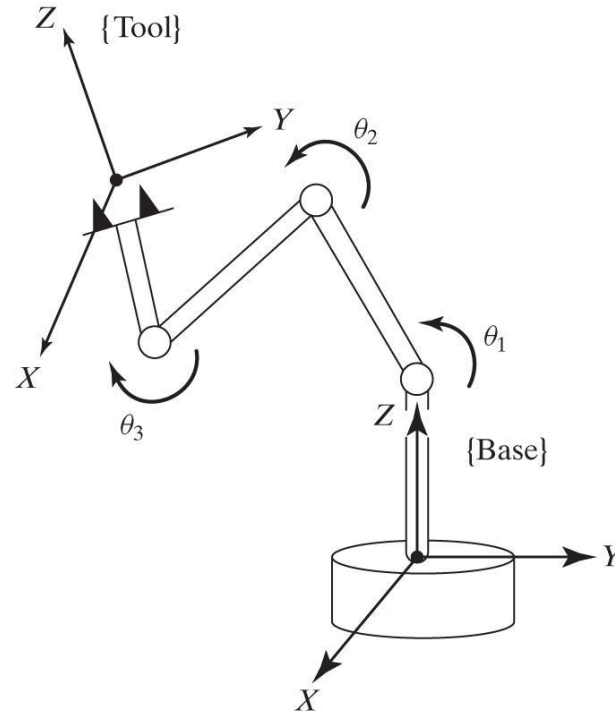
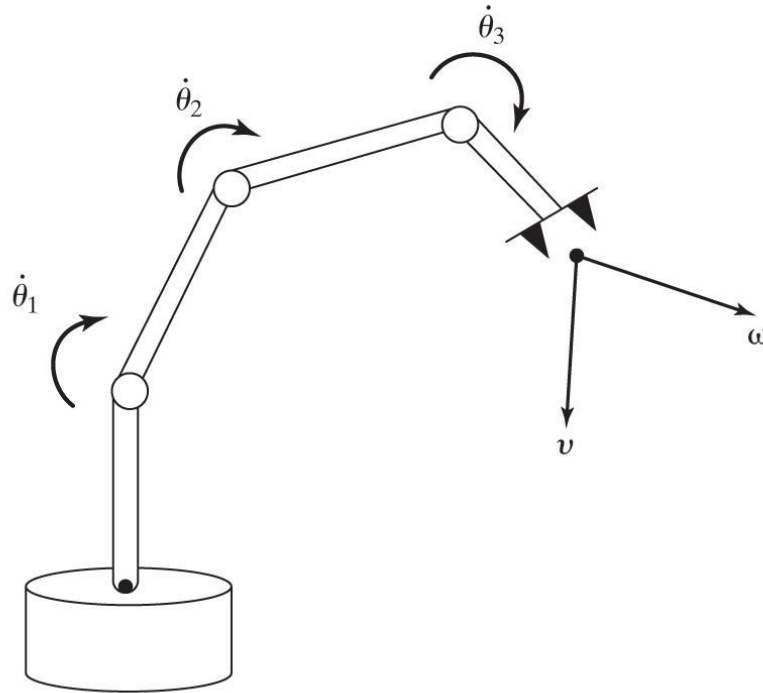


Figure 1.8

The geometrical relationship between joint rates and velocity of the end-effector can be described in a matrix called the Jacobian.



- 특이성(singularity): 매핑의 역을 구할 수 없는 경우(혹은 값)
 - 특이성이 있는 위치에서 머니플레이터 운동에 문제가 발생함(그림 1.9 참조)
- 동역학(dynamics): 운동을 일으키는 데 필요한 힘에 대한 학문
 - 머니플레이터를 정지 상태에서 가속시켜 말단 효과 장치가 일정한 속도로 움직이고, 마지막에는 감속하여 정지시키기 위해 관절 액추에이터(joint actuator)로 복잡한 토크 함수를 가해야 함. 필요한 액추에이터 토크 함수의 정확한 모양은 말단 효과 장치가 취하는 경로의 공간상-시간상 특성, 링크의 질량 특성, 관절의 가반하중(payload)과 마찰의 영향을 받음
 - 머니플레이터가 원하는 경로를 따르게 제어하는 방법 중 하나는 동역학 방정식을 이용하여 액추에이터의 토크 함수를 계산하는 것임
 - 그림 1.10 참조

Figure 1.9

A World War I biplane with a pilot and a rear gunner. The rear-gunner mechanism is subject to the problem of singular positions.

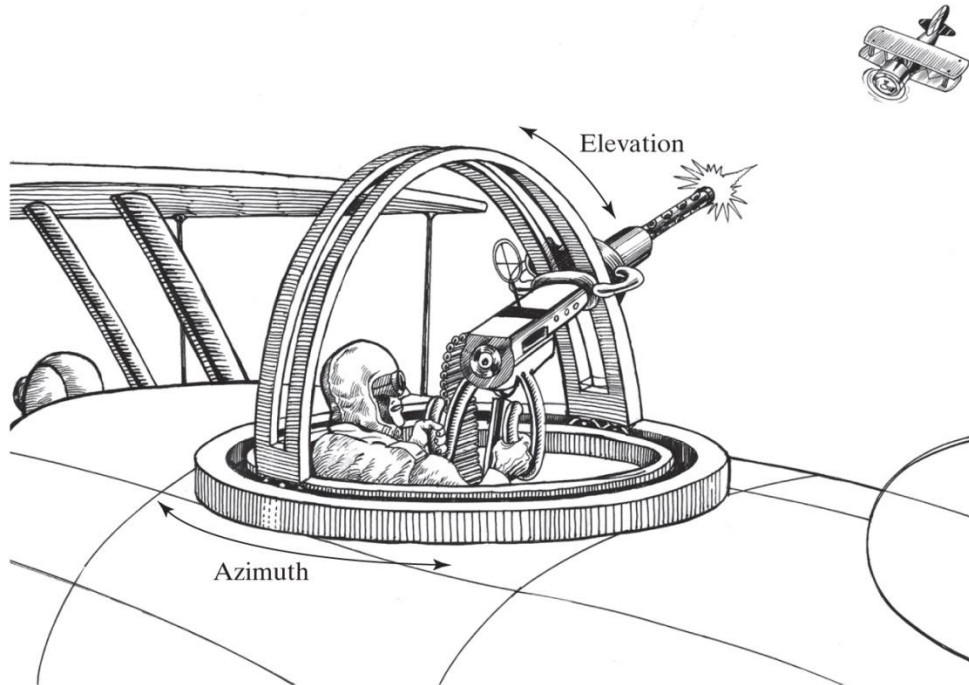
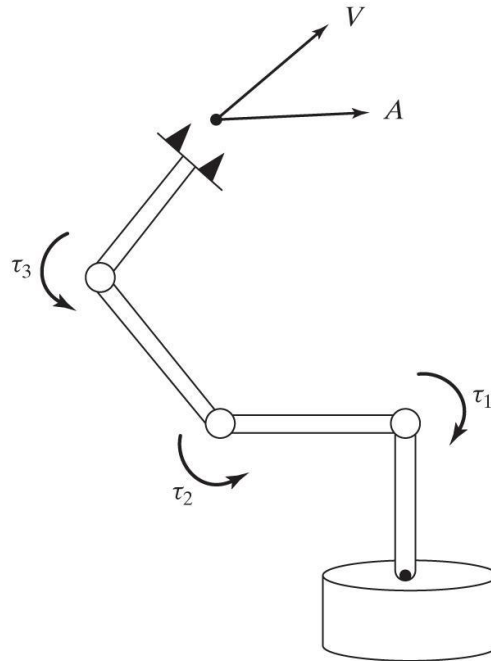


Figure 1.10

The relationship between the torques applied by the actuators and the resulting motion of the manipulator is embodied in the dynamic equations of motion.



- **궤도 생성(trajjectory generation)**: 머니플레이터를 유연하게 여기저기로 제어하기 위해서는 시간의 유연한 함수(smooth function)을 이용하는 것
 - 목적지로 가기 위해 경유점(via point)을 통과해야 하며, 이것을 가능하게 하는 유연한 함수를 스플라인(spline)이라고 함 (그림 1.11 참조)
 - 직교좌표 궤도 생성(Cartesian trajectory generation)은 7장에서 다룸
- 머니플레이터 설계
 - 크기, 속력, 가반하중을 고려하여 관절의 수와 기하학적인 배열을 결정함
 - 관절이 늘어날수록 자유도가 커져서 자유자재로 움직일 수 있지만 제작이 어려워지고 비싸짐

Gantry
robot



SCARA
robot



Articulated
Robot



Figure 1.11

In order to move the end-effector through space from point *A* to point *B*, we must compute a trajectory for each joint to follow.

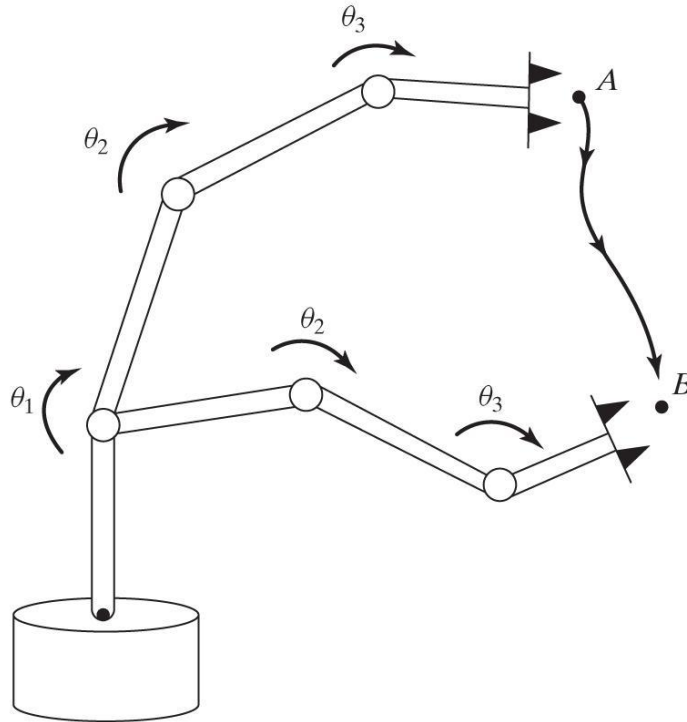
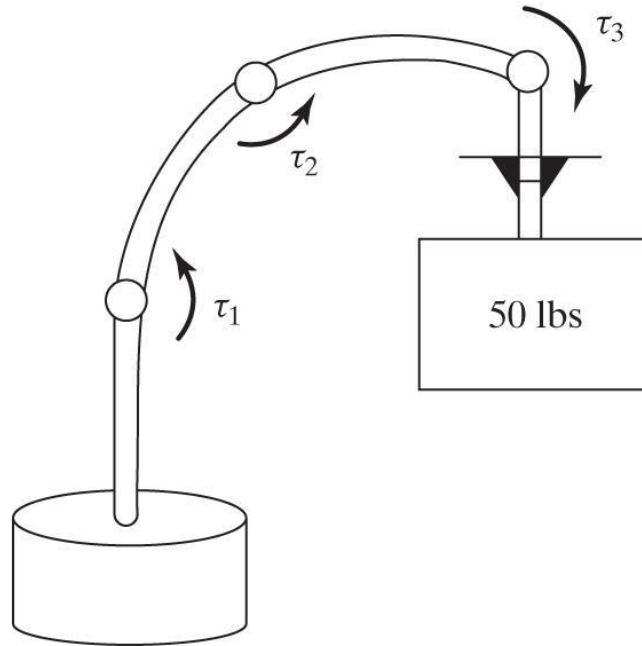


Figure 1.12

The design of a mechanical manipulator must address issues of actuator choice, location, transmission system, structural stiffness, sensor location, and more.



- **선형 위치 제어**: 대부분의 머니플레이터는 링크의 운동을 일으키는 힘이나 토크를 공급하는 액추에이터에 의해 구동됨. 따라서 원하는 운동을 일으키는 토크를 계산하는 알고리즘이 필요함.
 - 위치와 속도를 측정하는 센서의 값을 이용하여 위치 제어 시스템을 설계하고 액추에이터의 토크 명령을 계산하는 제어 알고리즘을 수행함
 - 머니플레이터 동역학의 선형 근사화에 근거하여 제어 알고리즘을 설계함
- 비선형 위치 제어: 머니플레이터의 비선형 동역학을 고려하면 좀 더 정확한 제어가 가능함.
- **힘제어(force control)**: 부품, 공구나 표면에 접촉했을 때 접촉 힘을 제어할 수 있도록 하는 제어. 위치제어와 같이 사용함
 - 혼합제어(mixed or hybrid control): 어떤 방향은 위치제어하고 나머지 방향은 힘제어함 (그림 1.14 참조)

Figure 1.13

In order to cause the manipulator to follow the desired trajectory, a position-control system must be implemented. Such a system uses feedback from joint sensors to keep the manipulator on course.

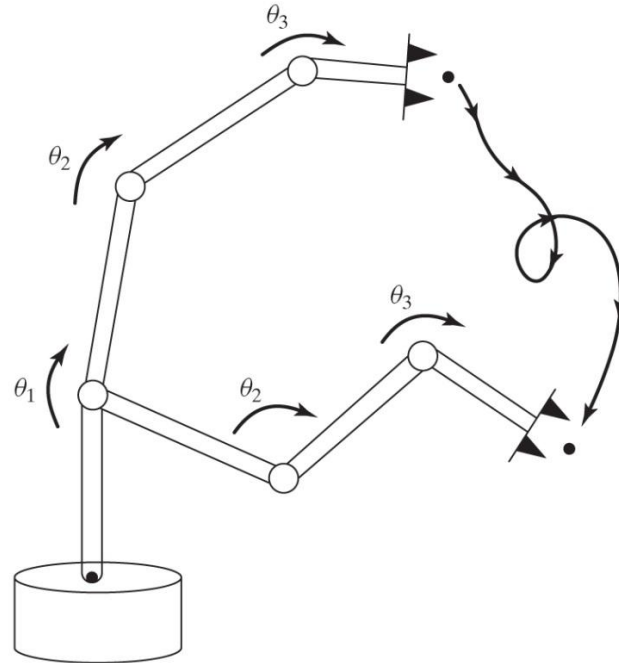
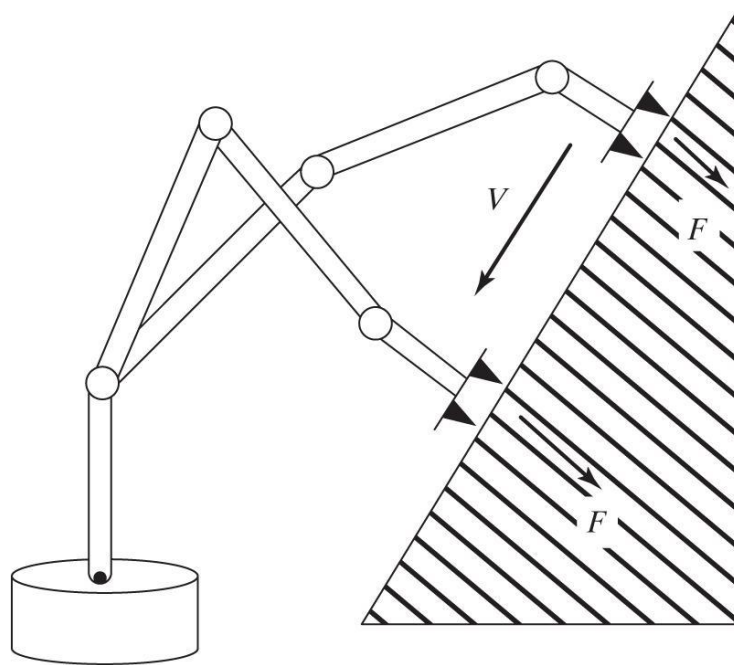


Figure 1.14

In order for a manipulator to slide across a surface while applying a constant force, a hybrid position–force control system must be used.



- 로봇 프로그래밍
 - C++/Python
 - MATLAB
 - ROS
- 오프라인 프로그래밍 시스템(시뮬레이션)
 - Webots
 - CoppeliaSim
 - Gazebo

Figure 1.15

Desired motions of the manipulator and end-effector, desired contact forces, and complex manipulation strategies can be described in a *robot programming language*.

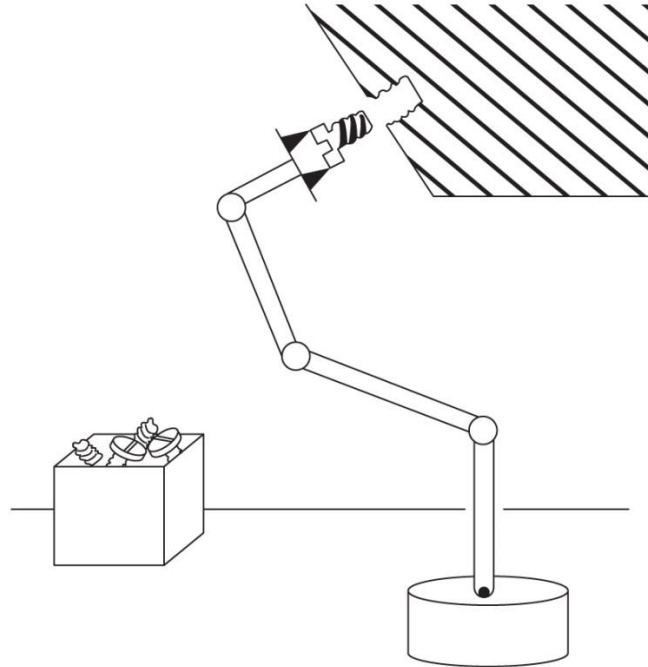


Figure 1.16

Off-line programming systems, generally providing a computer graphics interface, allow robots to be programmed without access to the robot itself during programming.

