



Autonomous Robotic Vehicles

Hellenic Mediterranean University

Lecture 1

Dr. Alina Eqtami

Lecture Goals - Στόχοι σημερινού μαθήματος!

Μετά το σημερινό μάθημα θα μπορείτε:

- Να περιγράφετε τις βασικές κατηγορίες αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων, i.e., UGV, UAV, UUV.
- Να εξηγείτε τις κύριες εφαρμογές τους στη βιομηχανία, στην έρευνα και στην καθημερινή ζωή.
- Να κατανοείτε τις τρεις θεμελιώδεις ερωτήσεις της ρομποτικής:
 - Πού βρίσκομαι;
 - Πού πάω;
 - Πώς θα φτάσω εκεί;
- Να περιγράφετε τον κύκλο **See–Think–Act** και τη σημασία του.
- Να συμμετέχετε ενεργά σε συζήτηση για τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες στον τομέα.

Ένας κόσμος όπου άνθρωποι και ρομπότ συνυπάρχουν:

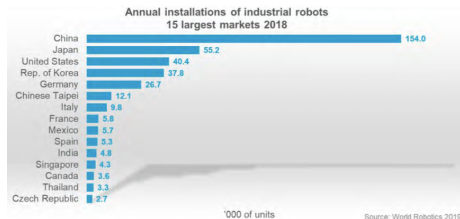
Η ρομποτική αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο που αλλάζει τον κόσμο μας!

Συνδυάζει μηχανική, ηλεκτρονικά, πληροφορική και τεχνητή νοημοσύνη με σκοπό τη δημιουργία αυτόνομων ή ημιαυτόνομων συστημάτων που συνεργάζονται με τον άνθρωπο και βελτιώνουν την καθημερινότητά μας.



Βιομηχανικές Εφαρμογές:

- Welding – Συγκόλληση
- Assembly – Συναρμολόγηση
- Inspection – Επιθεώρηση
- Packaging – Συσκευασία



Top 5 countries using industrial robots in 2018.

*Image source: The Robot Report

► Watch Example Video: Welding

► Watch Example Video: Assembly

Ιατρικές Εφαρμογές:

- Surgery – Χειρουργική
- Rehabilitation – Αποκατάσταση
- Telemedicine – Τηλειατρική



The daVinci Robot.

*Image source: Unity Medical Center

▶ Watch Example Video: Da-Vinci System

▶ Watch Example Video: Concentric Tube Robots

▶ Watch Example Video: Telemedicine

Ανθρωποειδή Ρομπότ & Ρομπότ Παροχής Υπηρεσιών:

- Customer service – Εξυπηρέτηση πελατών
- Education – Εκπαίδευση
- Elderly care – Φροντίδα ηλικιωμένων



Care Robots For Older People.

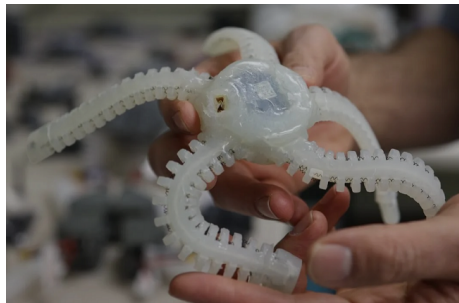
*Image source: AsianScientist

▶ Watch Example Video: Customer Service in a Hotel

▶ Watch Example Video: Robot Caregiver

Μαλακά Βιομιμητικά Ρομπότ:

- Delicate handling (food, organs)
 - Ευαίσθητος χειρισμός
- Human augmentation (exosuits)
 - Ανθρώπινη ενίσχυση - εξωσκελετοί
- Exploration in confined spaces – Στενοί ή περιορισμένοι χώροι



Carnegie Mellon University, Robotics Institute.

*Image source: Soft Machines Lab

▶ Watch Example Video: Origami Robots

Ground Mobile Robots

Επίγεια (ή Χερσαία) Αυτόνομα Ρομπότ:

- Logistics (AGVs, AMRs) – Εφοδιαστική
- Agriculture (weeding, harvesting) – Γεωργία (ζιζανιοκτονία, συγκομιδή)
- Security patrols – Περιπολίες ασφαλείας
- Service delivery – Παράδοση υπηρεσιών / αγαθών



Ground Drone Project: Urban mobile robot chassis.

*Image source: RoboHub

▶ Watch Example Video: Delivery

▶ Watch Example Video: Agriculture: Pick up tomatos

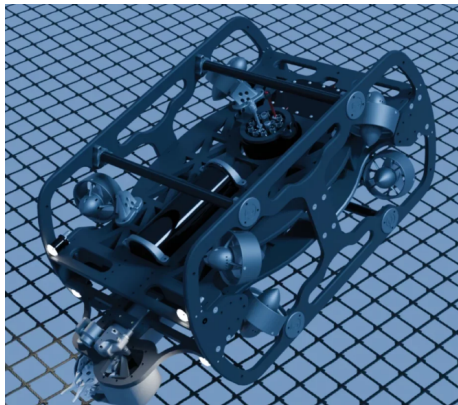
▶ Watch Example Video: Agriculture, funny!

Underwater Robots (ROVs/AUVs)

Υποβρύχια Ρομπότ:

- Inspection – Επιθεώρηση
- Mapping – Χαρτογράφηση
- Marine research – Θαλάσσια έρευνα
- Recovery operations – Επιχειρήσεις ανάκτησης

▶ Watch Example Video: Underwater Vehicle



ROV for inspecting and repairing salmon aquaculture nets.

*Image source: AuManufacturing

Aerial Robots (UAVs/Drones)

Εναέρια Ρομπότ:

- Surveillance – Επιτήρηση
- Mapping – Χαρτογράφηση
- Delivery – Παράδοση
- Disaster response –
Αντιμετώπιση καταστροφών

▶ Watch Example Video: Aerial Robot (Maintenance)

▶ Watch Example Video: Aerial Robot (Rescue)

▶ Watch Example Video: Swarm

▶ Nice site for unmanned technology!



Heavy Lift Electric Uncrewed Aerial System (UAS).

*Image source: BAE Systems

Military & Defense Robots

Στρατιωτικά & Αμυντικά Ρομπότ:

- Reconnaissance – Αναγνώριση / Επιτήρηση
- Explosive Ordnance Disposal (EOD) – Εξουδετέρωση εκρηκτικών μηχανισμών
- Combat support – Υποστήριξη μάχης



Boston Dynamics Robot.

*Image source: Teal company

▶ Watch Example Video: Amphibious Robot

▶ Watch Example Video: Under the Ground Robot

Course Structure

- ① Foundations: Locomotion, Kinematics, Dynamics
- ② Control: Motion Control, UAV/UUV Control, Robustness
- ③ Perception Localization: Sensors, Kalman Filter, SLAM
- ④ Planning: Path, Trajectory, Multi-Robot Coordination
- ⑤ Integration Advanced Topics: Mapping, Learning, HRI
- ⑥ Project Workshops and Final Presentations

Key Questions in Mobile Robotics

1. Where am I?

Localization: Determine position and orientation using sensors.

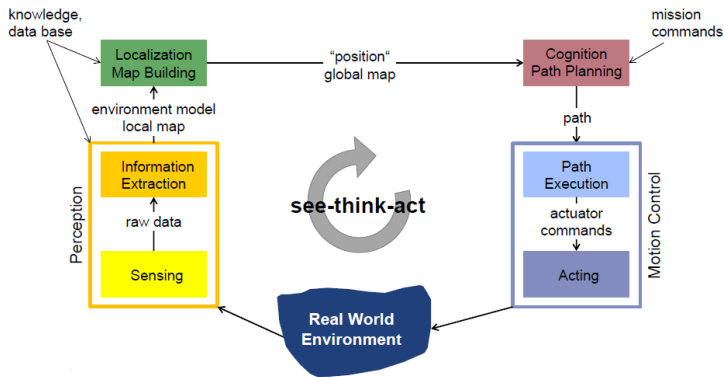
2. Where am I going?

Goal definition and path planning.

3. How do I get there?

Motion control, trajectory execution, obstacle avoidance.

The See-Think-Act Cycle



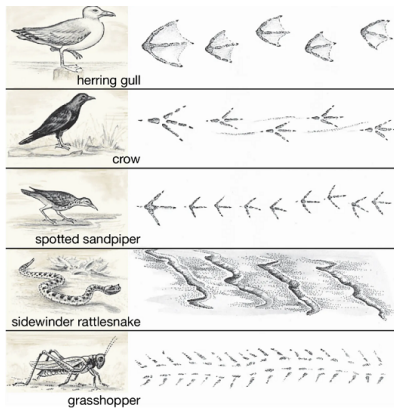
The See-Think-Act Cycle.

*Image source: ETH Zurich: Autonomous Systems Lab

- **See:** Perception, sensing, information extraction
- **Think:** Localization, mapping, decision-making, planning
- **Act:** Control and actuation, trajectory tracking

Το **Locomotion** είναι η ικανότητα ενός ρομπότ να μετακινείται από ένα σημείο σε άλλο.

Η επιλογή τρόπου κίνησης επηρεάζει την ταχύτητα, τη σταθερότητα, την κατανάλωση ενέργειας και την πολυπλοκότητα του ρομπότ.



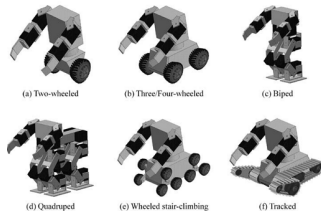
Tracks of selected animals.

*Image source: Britannica

Types of Robot Locomotion

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές Locomotion ανάλογα με τον σχεδιασμό του ρομπότ και την εφαρμογή.

- **Wheeled locomotion** – Ιδανικό για επίπεδες επιφάνειες, πιο αποδοτικό
- **Legged locomotion** – Κατάλληλο για ανώμαλο έδαφος, μιμείται ζώα/ανθρώπους
- **Tracked locomotion** – Αυξημένη σταθερότητα, χρήση σε βαριά ρομπότ
- **Flying locomotion** – drones/UAVs για εναέριες εργασίες
- **Swimming locomotion** – ROVs/UUVs για υδάτινο περιβάλλον



Basic conception of robots with various locomotion styles.

*Image source: ResearchGate

Challenges in Robot Locomotion

Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος του Locomotion περιλαμβάνουν αρκετές προκλήσεις:

- Διατήρηση **stability** και ισορροπίας
- Βελτιστοποίηση **energy efficiency**
- Ακριβής **navigation & path planning** σε πολύπλοκα περιβάλλοντα
- Σχεδίαση **control algorithms** για ομαλή κίνηση
- Μείωση **mechanical complexity** και κόστους συντήρησης

Η κατανόηση των παραπάνω είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αξιόπιστων ρομποτικών συστημάτων.

Introduction to Kinematics and Dynamics

Kinematics και **Dynamics** αποτελούν τα θεμέλια της ρομποτικής κίνησης.

- **Kinematics:** Μελετά τη γεωμετρία της κίνησης χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις.
- **Dynamics:** Μελετά τις δυνάμεις και ροπές που προκαλούν την κίνηση.

Η κατανόηση αυτών των εννοιών είναι κρίσιμη για την ανάλυση και τον έλεγχο των ρομπότ.

kinematics

The effect of a robot's geometry on its motion.

If the motors move *this* much, where will the robot be?

Assumes that we control *encoder readings...*

Kinematics vs. Dynamics.

*Image source: Slideserve

dynamics

The effect of all forces (internal and external) on a robot's motion.

If the motors apply *this* much force, where will the robot be?

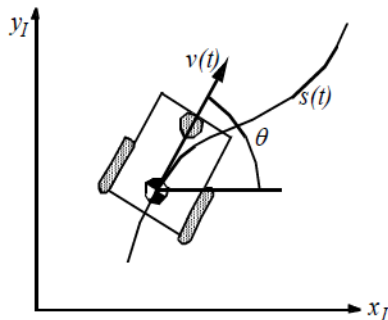
Assumes that we control *motor current...*

Types of Kinematics: Forward and Inverse

Kinematics χωρίζεται σε δύο βασικά προβλήματα:

- **Forward Kinematics:** Υπολογισμός της θέσης/προσανατολισμού του τελικού εκτελεστή (aka end-effector) από τις αρθρικές μεταβλητές (aka joint angles).
- **Inverse Kinematics:** Υπολογισμός των αρθρικών μεταβλητών που επιτυγχάνουν μια επιθυμητή θέση/προσανατολισμό.

Η επίλυση του inverse kinematics είναι κρίσιμη για tasks όπως pick-and-place.



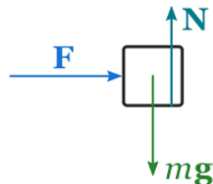
Mobile Robot.

*Image source: Autonomous Mobile Robots, our textbook.

Dynamics: Forces and Torques

Dynamics περιγράφει πώς οι δυνάμεις επηρεάζουν την κίνηση ενός ρομπότ.

- Χρήση νόμων του **Newton-Euler** ή εξισώσεων **Lagrange**.
- Υπολογισμός ροπών (torques) που απαιτούνται για να επιτευχθεί επιθυμητή επιτάχυνση.
- Προσομοίωση της πραγματικής συμπεριφοράς του συστήματος.



Free Body Diagram.

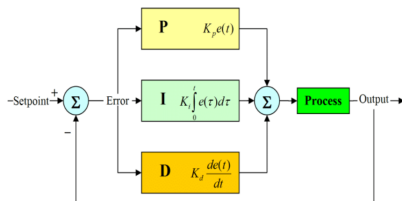
*Image source: Phyley

Η δυναμική ανάλυση είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό ελεγκτών και εκτίμηση φορτίων.

Motion Control: Overview

Motion Control αφορά τη χρήση αλγορίθμων ώστε το ρομπότ να ακολουθεί επιθυμητή τροχιά ή να επιτυγχάνει συγκεκριμένη θέση/ταχύτητα.

- **Open-loop control:** Χωρίς ανάδραση, βασίζεται μόνο στο μοντέλο.
- **Closed-loop control:** Με ανάδραση (feedback), eg **PID control**.
- **Trajectory tracking:** Παρακολούθηση προκαθορισμένης τροχιάς.
- **Path planning + control:** Συνδυασμός πλοήγησης και εκτέλεσης.



PID Block-Diagram.

*Image source: ResearchGate

Robot Perception είναι η ικανότητα ενός ρομπότ να λαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον του, να τις επεξεργάζεται και να τις χρησιμοποιεί για να λαμβάνει αποφάσεις.

- Χρησιμοποιεί δεδομένα από αισθητήρες (sensors)
- Αναγνωρίζει αντικείμενα, εμπόδια, άτομα ή χαρακτηριστικά χώρου
- Δημιουργεί αναπαράσταση του περιβάλλοντος (maps, point clouds)

Χωρίς perception, το ρομπότ δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα σε δυναμικά περιβάλλοντα.

Sensors for Perception

Βασικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική:

- **Cameras** – monocular, stereo, depth
- **LIDAR** – 2D/3D laser scanning
- **IMU** – Επιτάχυνση, γωνιακή ταχύτητα
- **GPS / GNSS** – Παγκόσμια θέση
- **Ultrasonic / IR sensors** – Ανίχνευση εμποδίων σε μικρή απόσταση
- **Force/Torque sensors** – Μέτρηση αλληλεπίδρασης με περιβάλλον



Robotic Sensors.

*Image source: OnlineSciences

Robot Localization: The Problem

Robot Localization είναι η διαδικασία κατά την οποία το ρομπότ υπολογίζει τη θέση και τον προσανατολισμό του (pose) στο περιβάλλον.

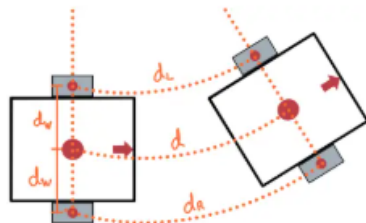
- Αν το **GPS** λειτουργούσε με ακρίβεια σε εσωτερικούς χώρους, το πρόβλημα θα ήταν πολύ απλούστερο.
- Όμως, σε κλειστούς χώρους πρέπει να βασιστούμε σε άλλες μεθόδους.

Η ακριβής εκτίμηση θέσης είναι κρίσιμη για navigation & motion planning.

Localization Methods: Landmarks and Odometry

Δύο βασικές προσεγγίσεις:

- **Landmarks:** Χρήση γνωστών χαρακτηριστικών του χώρου (π.χ. τοίχοι, γωνίες, markers).
- **Odometry:** Εκτίμηση θέσης από τις κινήσεις του ρομπότ (τροχούς, IMU).



Robot Odometry.

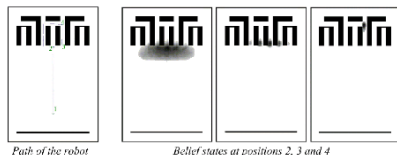
*Image source: Bench Robotics

Η odometry είναι εύκολη αλλά συσσωρεύει σφάλματα, ενώ τα landmarks μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διόρθωση.

Map-Based Localization

Πιο προηγμένη μέθοδος: συνδυασμός χαρτών με δεδομένα αισθητήρων:

- Χρήση map (eg occupancy grid) ως αναφορά.
- Σύγκριση μετρήσεων από LIDAR, cameras, ultrasonic sensors.
- Αλγόριθμοι όπως Monte Carlo Localization (MCL) για πιθανολογική εκτίμηση θέσης.



Map-Based Localization.

*Image source: Autonomous Mobile Robots, our textbook

Πλεονέκτημα: μειώνει το σφάλμα και προσφέρει ακριβή εκτίμηση σε δυναμικά περιβάλλοντα.

SLAM: Simultaneous Localization and Mapping

SLAM: επιτρέπει στο ρομπότ να δημιουργεί χάρτη του περιβάλλοντος και ταυτόχρονα να εκτιμά τη θέση του μέσα σε αυτόν.

- Δεν απαιτεί προϋπάρχοντα χάρτη.
- Συνδυάζει αισθητήρες όπως LIDAR, IMU, cameras.
- Χρησιμοποιεί αλγορίθμους όπως EKF-SLAM, Graph SLAM, ORB-SLAM.



SLAM algorithm.

*Image source: GIM International

Βασική τεχνολογία για αυτόνομα ρομπότ, drones, αυτόνομα οχήματα.

Planning: αφορά τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής ή τροχιάς ώστε το ρομπότ να φτάσει από μια αρχική σε μια τελική θέση.

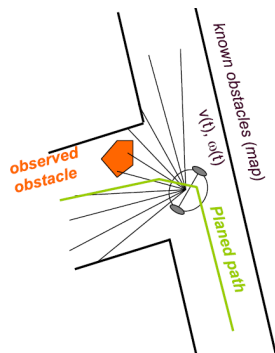
- **Path Planning:** υπολογισμός διαδρομής στο χώρο, αποφεύγοντας εμπόδια
- **Trajectory Planning:** υπολογισμός χρονικά βελτιστοποιημένης τροχιάς (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση)
- Αλγόριθμοι: A^* , Dijkstra, RRT, PRM

Το Planning είναι η “νοητική διεργασία” πριν την εκτέλεση της κίνησης.

Navigation and Obstacle Avoidance

Navigation είναι η διαδικασία εκτέλεσης της κίνησης ώστε το ρομπότ να ακολουθεί την επιθυμητή διαδρομή με ασφάλεια.

- Παρακολούθηση της σχεδιασμένης διαδρομής (path tracking)
- Συνεχής εκτίμηση θέσης (localization) κατά την κίνηση
- **Obstacle avoidance**: αποφυγή δυναμικών ή άγνωστων εμποδίων
- Συνδυασμός με motion control για ομαλή κίνηση



Navigation with Obstacle Avoidance.

*Image source: Autonomous Mobile Robots, our textbook

Navigation = Planning + Localization + Control σε πραγματικό χρόνο.

- Why do we want autonomous robots?
- Which application excites you most (UGV, UAV, UUV, swarm)?
- What are the main challenges you foresee?

Open floor for students to discuss and ask questions