



Universidad Veracruzana

Introduction to Robotics

Ph.D. Antonio Marin-Hernandez

Artificial Intelligence Department
Universidad Veracruzana
Sebastian Camacho # 5
Xalapa, Veracruz
Robotics Action and Perception
LAAS-CNRS
7, av du colonel Roche
Toulouse, France

1

Topics

- Introduction: Types of robots
- Locomotion
- Kinematics of Mobile Robots
- Perception
- Navigation
- Localization
- Path Planning
- Task Planning



Universidad Veracruzana

2

Mobile Robots: Perception

- Knowledge Acquisition is one of the most useful tasks for mobile robots and particularly for autonomous robots
- KA is done by measuring sensors and extracting useful data



Universidad Veracruzana

3

Mobile Robots: Perception

- There are many kinds of sensors that a robot can use,
- Their variable measures are classified in:
 - Internal (temperature of the robot, wheel's acceleration, battery, etc.)
 - External (range to objects, images, etc.)
- As robots move under their environments external measurements are very important.



Universidad Veracruzana

4

Mobile Robots: Perception

- Sensors can be primarily classified in two main axes.
- Proprioceptive / Exteroceptive
- Active / Passive



Universidad Veracruzana

5

Mobile Robots: Perception

- Proprioceptive sensors measure the internal variables of the robot, while
- Exteroceptive, get information from environment.
- Active sensor emits energy and measure environment interaction and
- Passive only measure the energy in the environment



Universidad Veracruzana

6

Mobile Robots: Perception

- As active sensors can control the environment interaction they offer a better performance.
- However there are some risks with the use of this sensors:
 - Energy emitted can affect the characteristics of what is trying to measure
 - They can suffer from interference, from environment or other robots



Universidad Veracruzana

7

Mobile Robots: Perception

General Classification	Sensor	PC/E C	A/P
Tactile sensors (physical contact or closeness)	Contact Switches, bumpers	EC	P
	Optical barriers	EC	A
	Non contact proximity sensors	EC	A
Wheel (speed and position)	Brush encoders	PC	P
	Potentiometers	PC	P
	Synchros, resolvers	PC	A
	Optical encoders , Magnetic encoders, Inductive encoders, Capacitive encoders	PC	A
Heading beacons (orientation)	Compass	EC	P
	Gyroscopes	PC	P
	Inclinometers	EC	A/P



Universidad Veracruzana

8

Mobile Robots: Perception

General Classification	Sensor	PC/E C	A/P
Acceleration	Accelerometers	PC	P
Ground beacons (localization)	GPS	EC	A
	Active optical or RF beacons	EC	A
	Active ultrasonic beacons	EC	A
	Reflective beacons	EC	A
Active ranging (reflectivity, ToF, geometric triangulation)	Reflectivity sensors	EC	A
	Ultrasonic sensors	EC	A
	Laser rangefinder	EC	A
	Optical triangulation (1D)	EC	A
	Structured light (2D)	EC	A



Universidad Veracruzana

9

Mobile Robots: Perception

General Classification	Sensor	PC/E C	A/P
Motion / Speed sensors (speed relative to fixed or moving objects)	Doppler radar	EC	A
	Doppler sound	EC	A
Vision sensors (Visual ranging, whole image analysis, segmentation, object recognition)	CCD/CMOS camera(s)	EC	P
	Visual ranging packages		
	Object tracking packages		



Universidad Veracruzana

10

Mobile Robots: Perception

- Sensor on the previous table are arranged in ascending order of complexity and descending order of maturity.
- Tactile sensors and proprioceptive sensors are practically for all mobile robots.
 - This sensors are easily to understand and find
- CCD/CMOS cameras provide a wide spread of possibilities
 - Obstacle avoidance, localization o face recognition



Universidad Veracruzana

11

Mobile Robots: Perception

- In general, to characterize a sensor is needed:
 - The dynamic range
 - Resolution
 - Linearity
 - Bandwidth or frequency



Universidad Veracruzana

12

Mobile Robots: Perception

- Generally is necessary to evaluate sensor performance *in situ* by measuring:
 - Sensitivity
 - Cross-sensitivity
 - Error
 - Accuracy
 - Systematic errors
 - Random errors
 - Precision



Universidad Veracruzana

13

Mobile Robots: Perception

- Sensors in wheels and motors
- Optical encoders.
 - More popular devices for measuring angular speed and position within a motor drive or at the shaft of a wheel or steering mechanism
- As they are proprioceptive sensors the position estimations is in the robot reference frame.
- For localization significant corrections are required.



Universidad Veracruzana

14

Mobile Robots: Perception

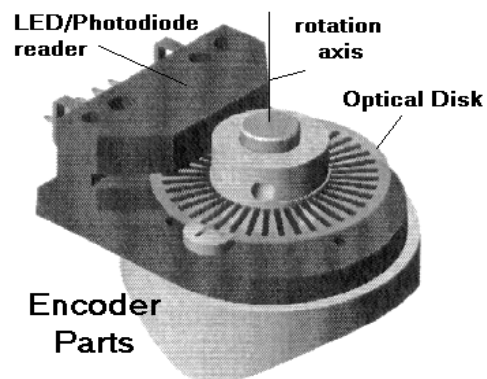
- The optical encoder is a mechanical light chopper that produces a certain number of sine or square wave pulses for each shaft revolution.
- It is composed of
 - A source of light
 - A fixed grating that masks the light
 - A rotor disc with a fine optical grid
 - Optical detectors



Universidad Veracruzana

15

Mobile Robots: Perception



Universidad Veracruzana

16

Mobile Robots: Perception

- When robot moves, the amount of light striking the optical detectors varies based on the alignment of the fixed and moving gratings.
- Resolution are measured in *cycles per revolution* (CPR)
- The minimum angular resolution can be readily computed from an encoder's CPR rating.
 - A typical encoder in mobile robotics may have 2000 CPR



Universidad Veracruzana

17

Mobile Robots: Perception

- Usually in mobile robotics the quadrature encoder is used.
- In this case, a second illumination and detector pair is placed 90 degrees shifted with respect to the original in terms of the rotor disc.
- The resulting twin square waves provide significantly more information.
- Thus, a 2000 CPR encoder in quadrature yields 8000 counts.



Universidad Veracruzana

18

Mobile Robots: Perception

- As with most proprioceptive sensors, encoders are generally in the controlled environment of a mobile robot's internal structure, and so systematic error and cross-sensitivity can be engineered away.
- The accuracy of optical encoders is often assumed to be 100% and, although this may not be entirely correct, any errors at the level of an optical encoder are dwarfed by errors downstream of the motor shaft.



Universidad Veracruzana

19

Mobile Robots: Perception

- **Heading sensors**
- Heading sensors can be proprioceptive (gyroscope, inclinometer) or exteroceptive (compass).
- They are used to determine the robot's orientation and inclination.



Universidad Veracruzana

20

Mobile Robots: Perception

- Compasses
- The two most common modern sensors for measuring the direction of a magnetic field are the Hall effect and flux gate compasses.
- They have some advantages and disadvantages between them



Universidad Veracruzana

21

Mobile Robots: Perception

- The Hall effect describes the behavior of electric potential in a semiconductor when in the presence of a magnetic field.
- When a constant current is applied across the length of a semiconductor, there will be a voltage difference in the perpendicular direction.
- The sign of the voltage potential identifies the direction of the magnetic field.



Universidad Veracruzana

22

Mobile Robots: Perception

- A single semiconductor provides a measurement of flux and direction along one dimension.
- In robotics are commonly used two such semiconductors at right angles.
- The instruments are inexpensive but also suffer from a range of disadvantages.
 - Resolution is poor.
 - Internal sources of error include the nonlinearity of the basic sensor and systematic bias errors at the semiconductor level.



Universidad Veracruzana

23

Mobile Robots: Perception

- The flux gate compass operates on a different principle.
- Two small coils are wound on ferrite cores and are fixed perpendicular to one another.
- When alternating current is activated in both coils, the magnetic field causes shifts in the phase depending on its relative alignment with each coil.



Universidad Veracruzana

24

Mobile Robots: Perception

- By measuring both phase shifts, the direction of the magnetic field in two dimensions can be computed.
- The flux gate compass can accurately measure the strength of a magnetic field and has improved resolution and accuracy.
- However, it is both larger and more expensive than a Hall effect compass.



Universidad Veracruzana

25

Mobile Robots: Perception

- A major drawback concerning the use of the Earth's magnetic field for mobile robot applications involve:
 - disturbance of that magnetic field by other magnetic objects and man-made structures
 - bandwidth limitations of electronic compasses
 - susceptibility to vibration.
- Particularly in indoor environments, mobile robotics applications have often avoided the use of compasses.



Universidad Veracruzana

26

Mobile Robots: Perception

- **Gyroscopes**
- Gyroscopes are heading sensors which preserve their orientation in relation to a fixed reference frame.
- They provide an absolute measure for the heading of a mobile system.
- Two categories,
 - mechanical gyroscopes and
 - optical gyroscopes.



Universidad Veracruzana

27

Mobile Robots: Perception

- Mechanical gyroscopes.
- The concept of a mechanical gyroscope relies on the inertial properties of a fast-spinning rotor.
- The property of interest is known as the gyroscopic precession.
- If you try to rotate a fast-spinning wheel around its vertical axis, you will feel a harsh reaction in the horizontal axis.



Universidad Veracruzana

28

Mobile Robots: Perception

- This is due to the angular momentum associated with a spinning wheel and will keep the axis of the gyroscope inertially stable.
- A high quality mechanical gyroscope can cost up to \$100,000 and has an angular drift of about 0.1 degrees in 6 hours



Universidad Veracruzana

29

Mobile Robots: Perception

- Optical gyroscopes.
- Relatively new (early 1980's)
- Sensors of angular speed
- They use two monochromatic light beams, or lasers, emitted from the same source.
- They work on the principle that the speed of light remains unchanged
- Changes in geometric can cause light to take a varying amount of time to reach its destination.



Universidad Veracruzana

30

Mobile Robots: Perception

Ground-based beacons

- Active or pasive
- Systemas like GPS
- Not for use indoor



Universidad Veracruzana

31

Mobile Robots: Perception

Active Range Sensors

- Very populars
- Low cots
- Raw data easily interpreted
- Compute distances
- Only by acchieving a sucessful visual processing can compite



Universidad Veracruzana

32

4. Percepción

Time of Flight (ToF)

- Sensores ultrasónicos o telémetro láser
- Se basan en la propagación de una onda sonora o electromagnética
- En general, la distancia d se obtiene de:
$$d = vt$$
- en donde v es la velocidad de la onda y t es el tiempo de vuelo



Universidad Veracruzana

33

4. Percepción

- La propagación del sonido es de 0.3m/ms
- De la luz es de .3m/ns
- ~1 millon de veces de diferencia
- Para una distancia de 3m con ultrasonidos se tiene un tiempo de vuelo de 10ms y 10ns para la luz
- Ondas electromagnéticas eran un desafío



Universidad Veracruzana

34

4. Percepción

- La calidad de estos sensores depende de:
 - La incertidumbre en el tiempo exacto de llegada de la señal reflejada
 - Imprecisiones en la medida del tiempo de vuelo (particularmente con el láser)
 - El cono de dispersión del haz transmitido (para sensores ultrasónicos)
 - Interacción con el objetivo
 - Variaciones de la velocidad de propagación
 - Las velocidades del móvil y objetivos



Universidad Veracruzana

35

4. Percepción

Sensor ultrasónico

- Frecuencias de 40 a 180 kHz
- Miden distancias entre 12cm y 5 m
- Precisión de 98% a 99.1%
- Resolución de 2cm
- Propagación de la onda en un cono
- Apertura entre 20° y 40°



Universidad Veracruzana

36

4. Percepción

Sensor ultrasónico

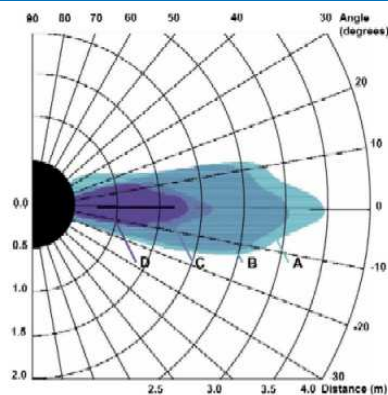
- No se adquieren puntos de profundidad sino regiones
- Las lecturas deben representarse como arcos (o segmentos de esferas en 3D) y no como puntos
- Se puede mejorar la calidad con el procesamiento del eco



Universidad Veracruzana

37

4. Percepción



Universidad Veracruzana

38

4. Percepción

Sensor ultrasónico

- No se consideran los errores producidos por el movimiento del robot
- Si la superficie reflejante no es perpendicular al sensor mayor probabilidad de perder el reflejo
- Se requieren superficies acusticamente reflejantes



Universidad Veracruzana

39

4. Percepción

Telémetro láser

- Usa una luz láser en lugar de una onda sonora
- Conocidos también como *optical radar* o *lidar* (light detection and ranging)
- Un solo haz láser, y un sistema de espejos
- Pueden ser en 2D y 3D



Universidad Veracruzana

40

4. Percepción

Telémetro láser

- Se pueden emitir pulsos del haz láser, y se miden las diferencias de tiempo, requiere de procesamiento de picosegundos
- Se puede medir la frecuencia de golpeo entre una frecuencia modulada y su reflexión
- Desfasamiento de la luz reflejada



Universidad Veracruzana

41

4. Percepción

Telémetro láser



a) SICK LMS 200



b) Hokuyo URG



Universidad Veracruzana

42

4. Percepción

Telémetro láser

- Sick LMS 200
 - Resolución angular de 0.5°
 - Medidas de profundidad de 5cm a 30m
 - Frecuencia máxima de barrido 75Hz
 - Campo de vista 180°
 - Potencia de 18W
 - Precisión $\pm 15\text{mm}$ (1 to 8m), $\pm 4\text{cm}$ (4 to 20m)



Universidad Veracruzana

43

4. Percepción

Telémetro láser

- Hokuyo URG
 - Resolución angular de 0.36°
 - Medidas de profundidad de hasta 4m
 - Frecuencia máxima de barrido 10Hz
 - Campo de vista 240°
 - Potencia de 2.5W
 - Precisión $\pm 10\text{mm}$



Universidad Veracruzana

44

4. Percepción

Distancia basada en triangulación

- Usan la geometría para la lectura de distancias
- Sensores activos, proyectan un patrón de luz conocido (puntos, líneas, texturas)
- Pueden ser 1D y 2D



Universidad Veracruzana

45

4. Percepción

Triangulación óptica (1D)

- Se captura la luz reflejada por un PSD (position-sensitive device) o una cámara lineal
- Buena resolución y precisión para objetos cercanos
- El rango de operación depende de la geometría



Universidad Veracruzana

46

4. Percepción

Luz estructurada (2D)

- Sustituyendo el PSD o cámara lineal por una cámara CCD o CMOS, se puede recuperar un conjunto de puntos
- Se proyecta un patrón de luz conocido
- Sensor activo funciona de noche



Universidad Veracruzana

47

4. Percepción

Sensores de movimiento/velocidad

- Miden el movimiento relativo del robot y su medio
- Por lo tanto pueden estimar la velocidad
- Pueden ser sensores piroeléctricos o sensores basados en efecto Doppler
- Para vehículos autónomos en autopistas o aéreas, los sistemas de efecto Doppler son los más usados



Universidad Veracruzana

48

4. Percepción

Sensores de visión

- La visión es nuestro más poderoso sentido
- Enorme cantidad de información
- Se trata de imitar las capacidades humanas de visión
- Se usan cámaras CCD o CMOS



Universidad Veracruzana

49

4. Percepción

Sensores visuales de distancia

- Cámaras de video / Swiss Ranger
- Profundidad por enfoque
- Estereo visión
- Movimiento y flujo óptico



Universidad Veracruzana

50

4. Percepción

Visión

- Cruces por cero (detectores de borde)
- Flujo óptico
- Seguimiento de color
- etc.



Universidad Veracruzana

51

4. Percepción

Representación de la Incertidumbre

...



Universidad Veracruzana

52

4. Percepción

Extracción de características

- Los robots autónomos deben determinar sus relaciones con el medio haciendo medidas con sus sensores
- Se deben usar estas medidas
- Sensores imperfectos - incertidumbre



Universidad Veracruzana

53

4. Percepción

- Por ello las entradas deben ser usadas de manera tal que permitan al robot interactuar exitosamente con el medio a pesar de la incertidumbre
- Hay dos estrategias
 - Usar cada medida de los sensores como valores individuales crudos
 - Extraer información de uno o más sensores, y generar un nivel perceptual de alto nivel



Universidad Veracruzana

54

4. Percepción

- Segunda opción -> Extracción de características
- Los robots no necesariamente realizan la extracción de características ni interpretación de escenas para cada actividad
- En lugar de ello, interpretan los sensores en varios grados dependiendo cada funcionalidad específica



Universidad Veracruzana

55

4. Percepción

- Para realizar una parada de emergencia
 - El robot puede usar los datos crudos de los sensores de distancia
- Para evitar obstáculos a nivel local,
 - los datos crudos de distancia pueden ser combinados con una malla de ocupación, y así realizar una suave trayectoria alrededor de los obstáculos



Universidad Veracruzana

56

4. Percepción

- Para la construcción de mapas y navegación precisa
 - Los datos de los sensores de distancia así como los de visión, pueden pasar un proceso perceptual completo, siendo sujeto a:
 - Una extracción de características
 - Interpretación de escena
 - Esto es necesario para reducir el impacto individual de las incertidumbres en la habilidad de creación de mapas y navegación



Universidad Veracruzana

57

4. Percepción

Definición de característica

- Las características son estructuras de elementos reconocibles en el ambiente
- Usualmente pueden ser extraídas de las medidas y descritas matemáticamente
- Las buenas características son siempre perceptibles y fácilmente detectables



Universidad Veracruzana

58

4. Percepción

- Características de bajo nivel (primitivas geométricas)
 - Líneas, círculos, polígonos, etc.
- Características de alto nivel (objetos)
 - Puertas, mesas, botes de basura, etc.



Universidad Veracruzana

59

4. Percepción

- Los sensores de datos crudos, proveen una gran cantidad de datos
- Sin embargo, con pocas diferencias entre los datos
- Se tiene la ventaja de que cada bit de información es completamente usado y por lo tanto hay una tasa elevada de conservación de la información



Universidad Veracruzana

60

4. Percepción

- Las características de bajo nivel, son abstracciones de los datos crudos, y proveen un volumen bajo de datos y un incremento en la distintividad de cada característica
- Se espera que al encontrar estas características se filtren los errores o datos inútiles
- Se puede perder información valiosa



Universidad Veracruzana

61

4. Percepción

- Las características de alto nivel proveen un máximo de abstracción de los datos crudos
- Se reduce el volumen de datos lo más posible y se provee de características altamente distintivas
- El proceso de abstracción tiene el riesgo de filtrar información importante
- Se reduce el potencial de utilización de los datos



Universidad Veracruzana

62

4. Percepción

- Las características deben tener una localización espacial
 - Una esquina se encuentra en una posición específica
 - Una huella visual puede identificar una habitación en un edificio



Universidad Veracruzana

63

4. Percepción

- En robótica móvil las características juegan un papel muy importante en la creación de los modelos del medio
- Estas permiten descripciones más compactas y robustas
- Al diseñar un robot móvil, es importante las características apropiadas a usar por el robot.



Universidad Veracruzana

64

4. Percepción

Factores a considerar

- Medio del robot
- Sensores disponibles
- Poder de computo
- Representación del medio



Universidad Veracruzana

65

4. Percepción



Universidad Veracruzana

66

Bibliography

- Siegwart R. and I. Nourbakhsh, "Introduction to Autonomous Mobile Robots", MIT Press, 2004.
- Dudek G. and M. Jenkin, "Computational Principles of Mobile Robotics", Cambridge University Press, 2000.



Universidad Veracruzana

67

Bibliography

- Ulrich Nehmzow, "Scientific Methods in Mobile Robotics", Springer, 2006.
- Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, and Dieter Fox, "Probabilistic Robotics", MIT Press, 2005.
- Howie Choset, Kevin M. Lynch, Seth Hutchinson, George Kantor, Wolfram Burgard, Lydia E. Kavraki, Sebastian Thrun, "Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations", MIT Press, 2005



Universidad Veracruzana

68