

Robótica Móvil

un enfoque probabilístico

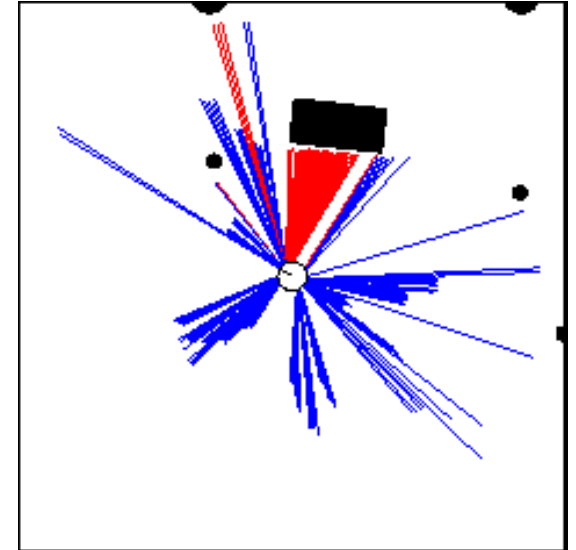
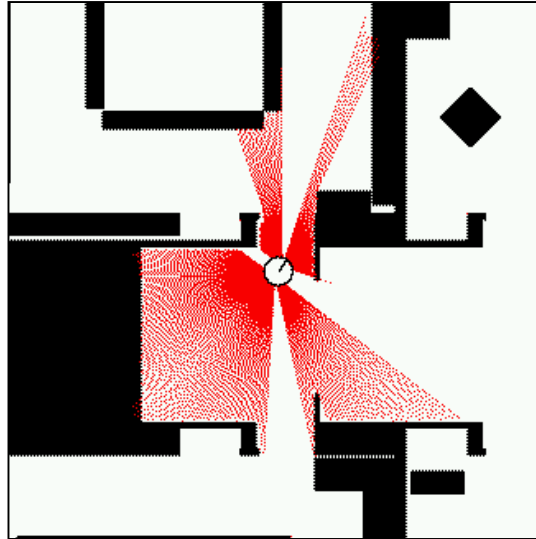
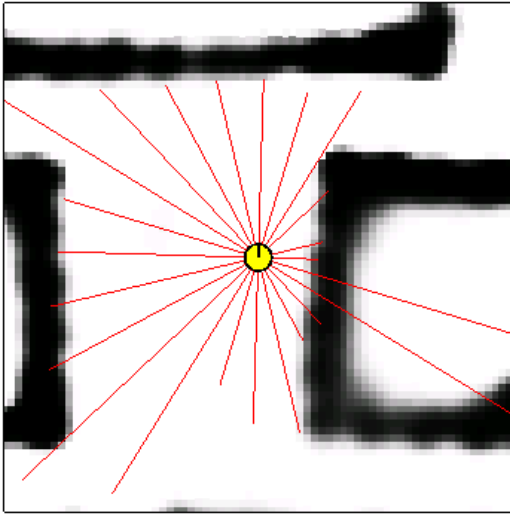
Modelos Probabilísticos de Sensores

Ignacio Mas

Sensores para robots móviles

- **Sensores de contacto:** Paragolpes
- **Sensores propioceptivos**
 - Acelerómetros (Masa sobre resorte)
 - Giróscopos (Masa girando, haz láser)
 - Brújulas, inclinómetros (campo magnético, gravedad)
- **Sensores de proximidad**
 - Sonar (tiempo de vuelo -tof)
 - Radar (Fase y frecuencia)
 - Lidars (Laser range-finders: triangulación, tof, fase)
 - Infrarojo (intensidad)
- **Sensores visuales:** Cámaras
- **Sensores basados en satélites:** GPS

Sensores de proximidad



- La idea es determinar $P(z|x,m)$, i.e., la probabilidad de una medición z dado que el robot está en la posición x .
- **A resolver**: Cómo se puede calcular esa probabilidad?
- **Método**: Tratemos de explicar una medición.

Modelo de sensor basado en haz (beam-based)

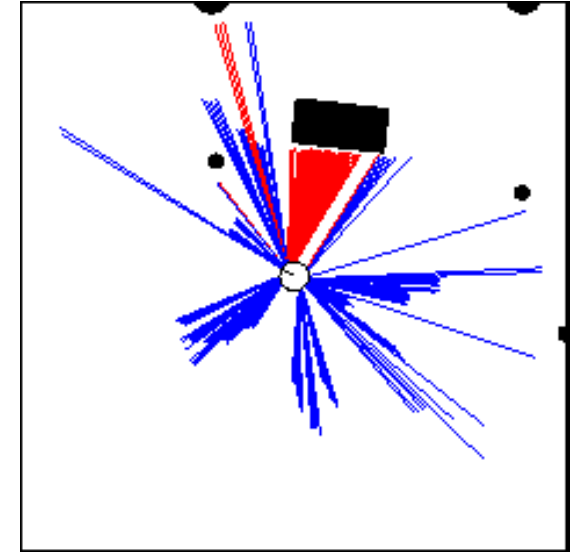
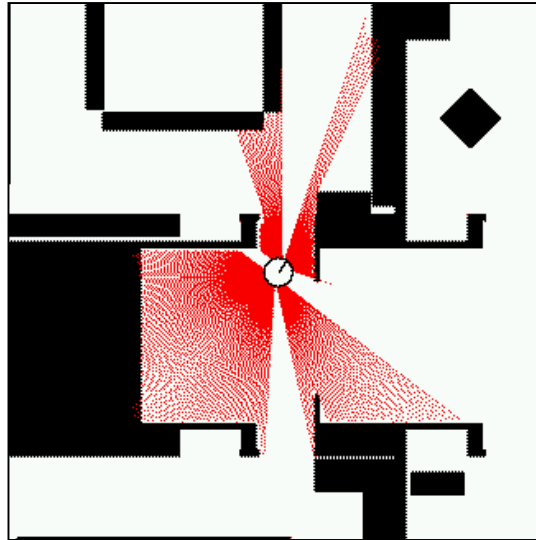
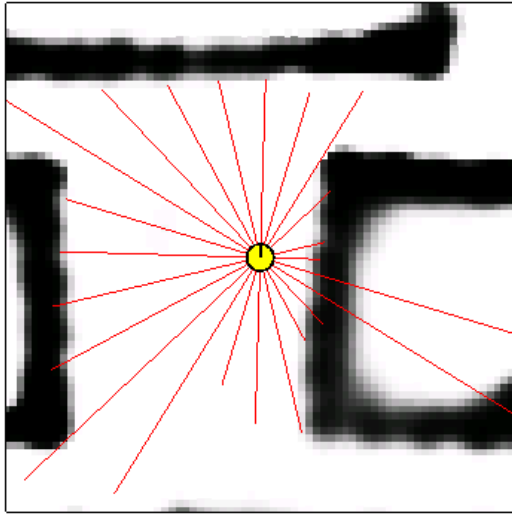
- Un barrido z consiste de K mediciones.

$$z = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$$

- Suposición: Las mediciones individuales son independientes dada la posición del robot.

$$P(z \mid x, m) = \prod_{k=1}^K P(z_k \mid x, m)$$

Modelo de sensor basado en haz (beam-based)

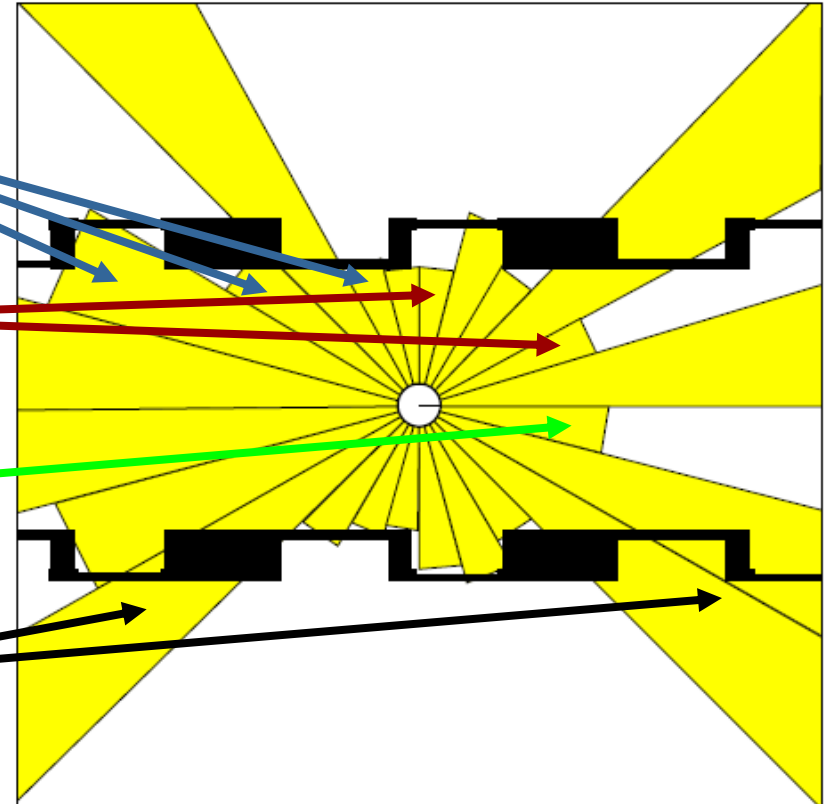


$$P(z \mid x, m) = \prod_{k=1}^K P(z_k \mid x, m)$$

A partir de (x, m) debe hacerse ray-casting para comparar con z

Errores de medición de distancia (range-finders)

1. Haz reflejado en obstáculos
2. Haz reflejado en personas o debido a crosstalk
3. Lectura aleatoria
4. Lectura de distancia máxima

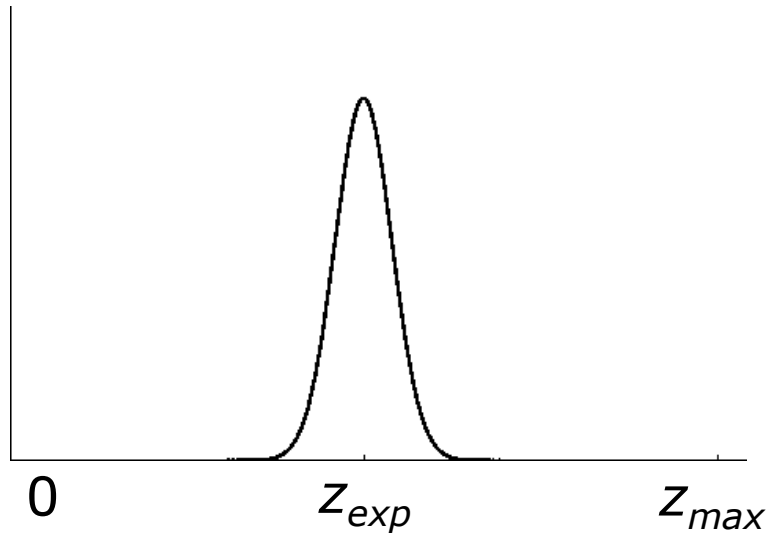


Medición de proximidad

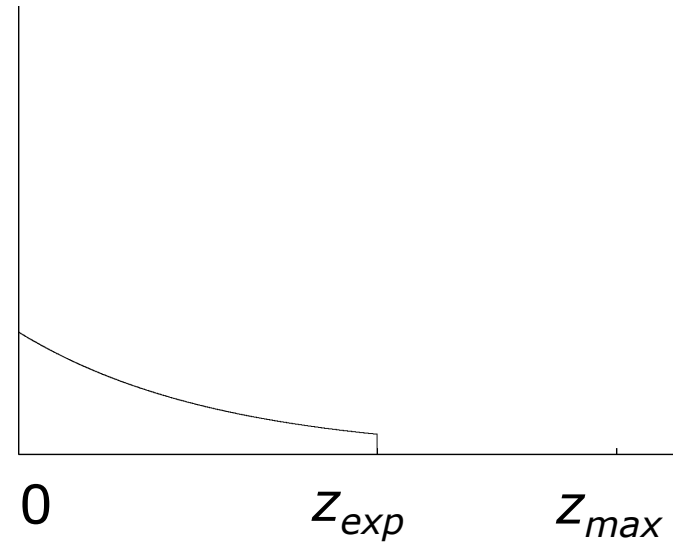
- Una medición se debe a ...
 - Un obstáculo conocido.
 - cross-talk.
 - Un obstáculo inesperado (gente, muebles, ...).
 - No detección de obstáculos (reflejos, vidrio, ...).
- El ruido se debe a incerteza ...
 - En la distancia a un obstáculo conocido.
 - En la posición de un obstáculo conocido
 - En la posición de obstáculos adicionales
 - Si un obstáculo no es detectado

Modelo de proximidad basado en haz (beam-based)

Ruido de medición



Obstáculos inesperados

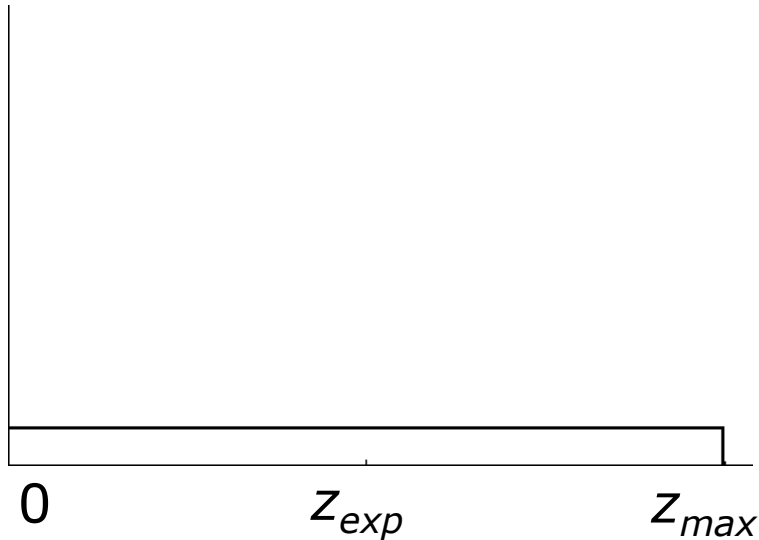


$$P_{hit}(z | x, m) = \eta \frac{1}{\sqrt{2\pi b}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(z - z_{exp})^2}{b}}$$

$$P_{unexp}(z | x, m) = \begin{cases} \eta \lambda e^{-\lambda z} & z < z_{exp} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

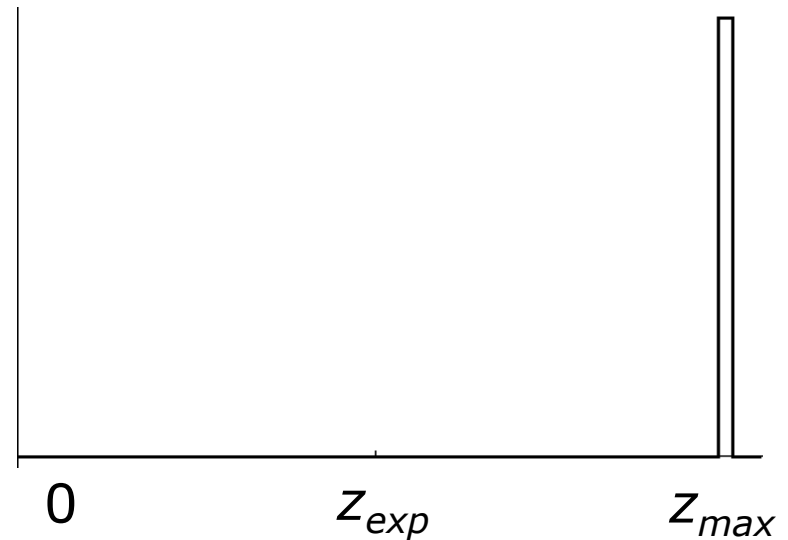
Modelo de proximidad basado en haz (beam-based)

Medición Aleatoria



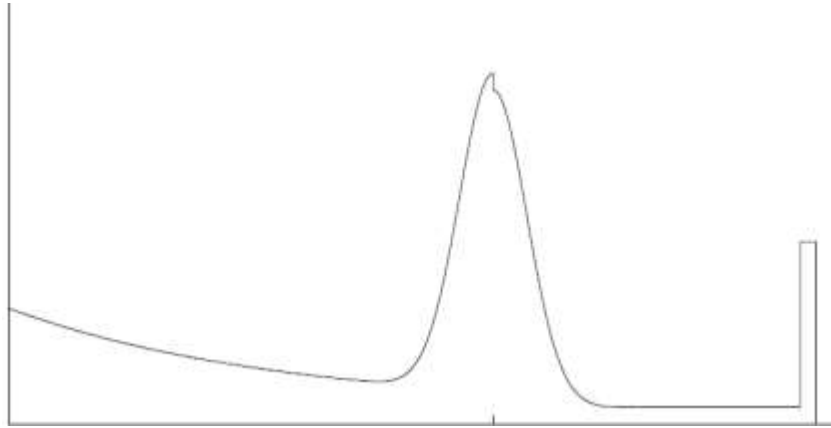
$$P_{rand}(z | x, m) = \eta \frac{1}{z_{max}}$$

Rango máximo



$$P_{max}(z | x, m) = \eta \frac{1}{z_{small}}$$

Mezcla de densidades resultante

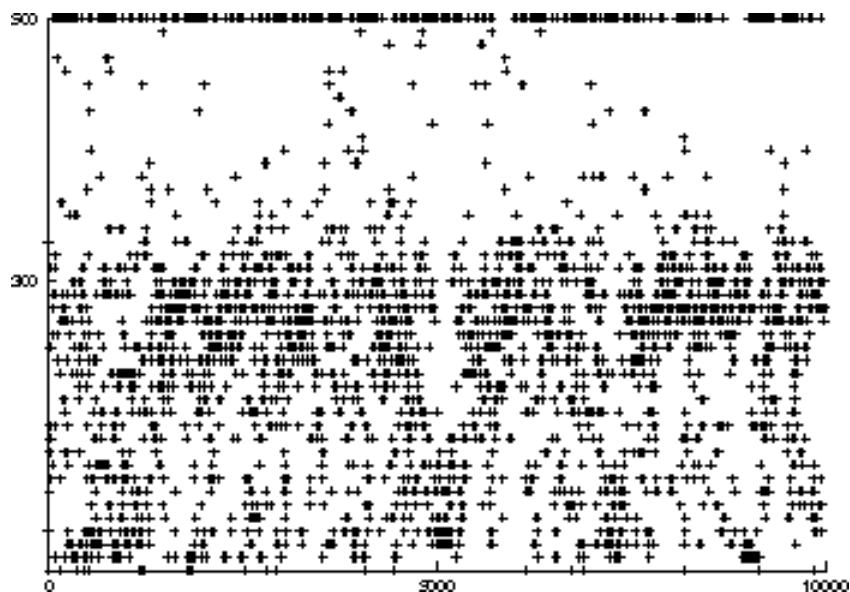


$$P(z | x, m) = \begin{pmatrix} \alpha_{\text{hit}} \\ \alpha_{\text{unexp}} \\ \alpha_{\text{max}} \\ \alpha_{\text{rand}} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} P_{\text{hit}}(z | x, m) \\ P_{\text{unexp}}(z | x, m) \\ P_{\text{max}}(z | x, m) \\ P_{\text{rand}}(z | x, m) \end{pmatrix}$$

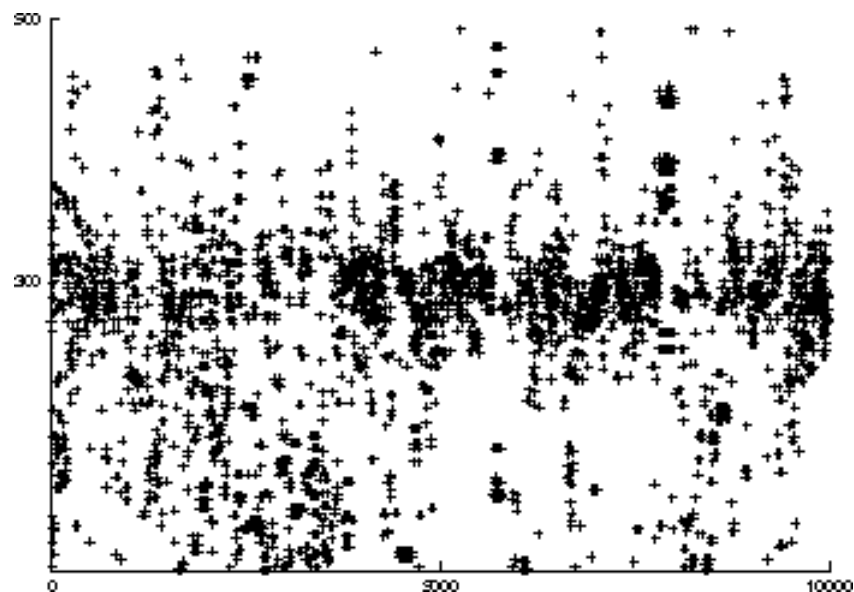
Cómo determinar los parámetros del modelo?

Datos crudos de un sensor

Distancias medidas para una distancia esperada de 300cm.



Sonar



Laser

Aproximación

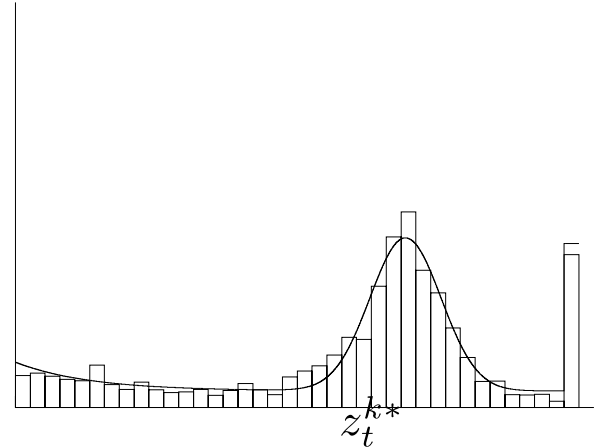
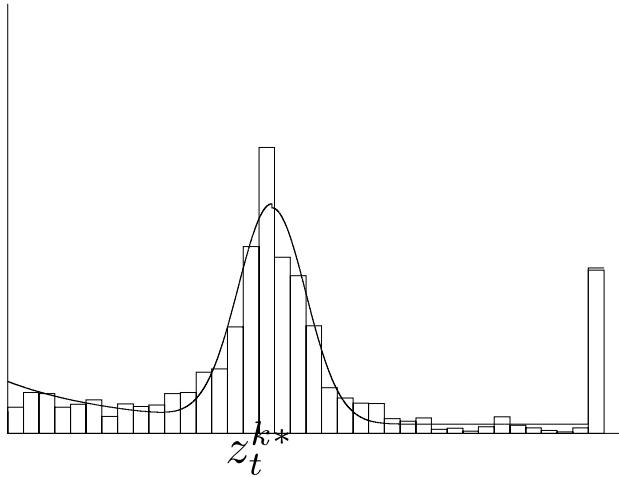
- Maximizar el log de la verosimilitud de los datos

$$P(z \mid z_{\text{exp}})$$

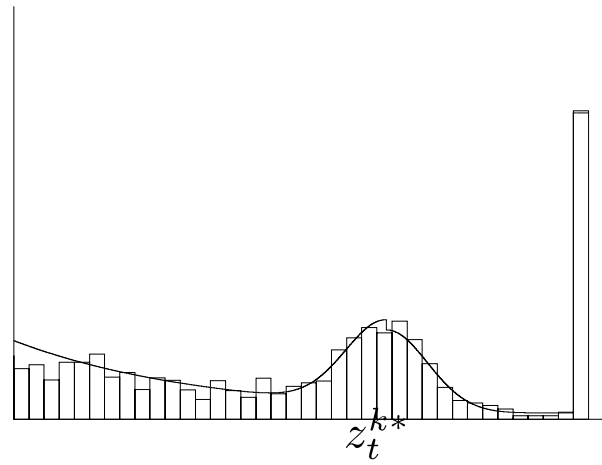
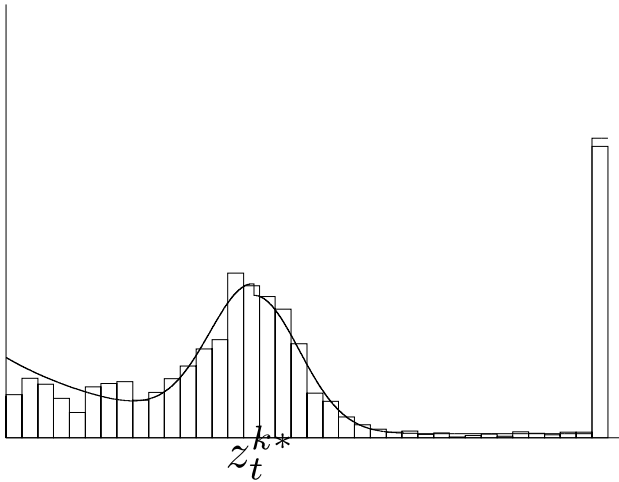
- Espacio de búsqueda de $n-1$ parámetros.
 - Hill climbing
 - Gradient descent
 - Algoritmos genéticos
 - ...
- Calcular determinísticamente el n -ésimo parámetro para satisfacer la restricción de normalización

Aproximación - Resultados

Laser



Sonar



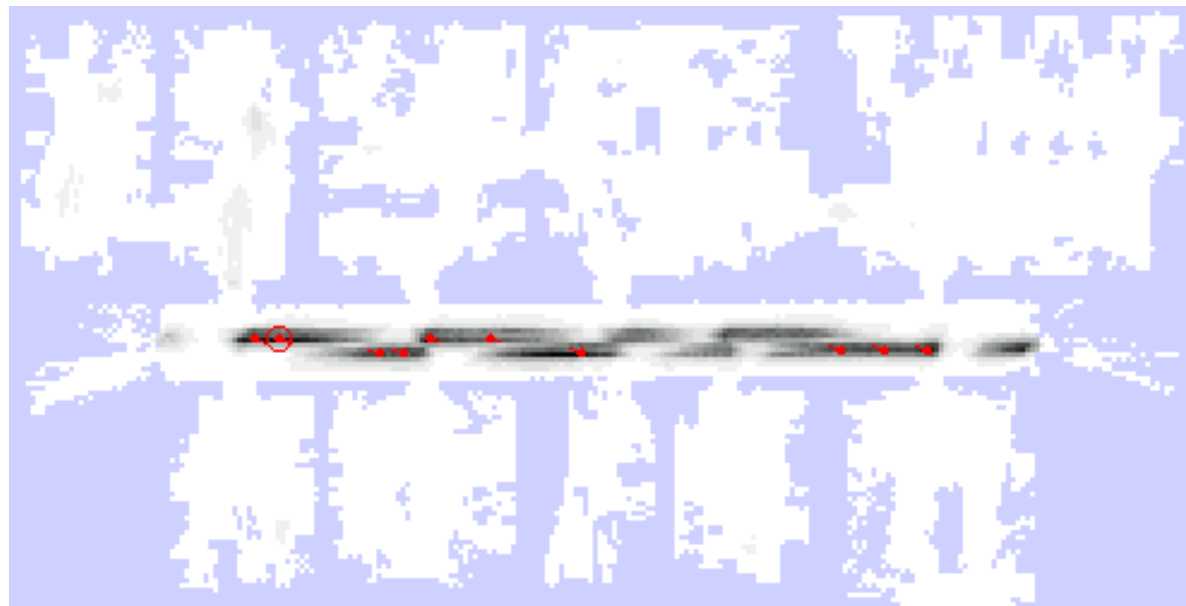
300cm

400cm

Ejemplo

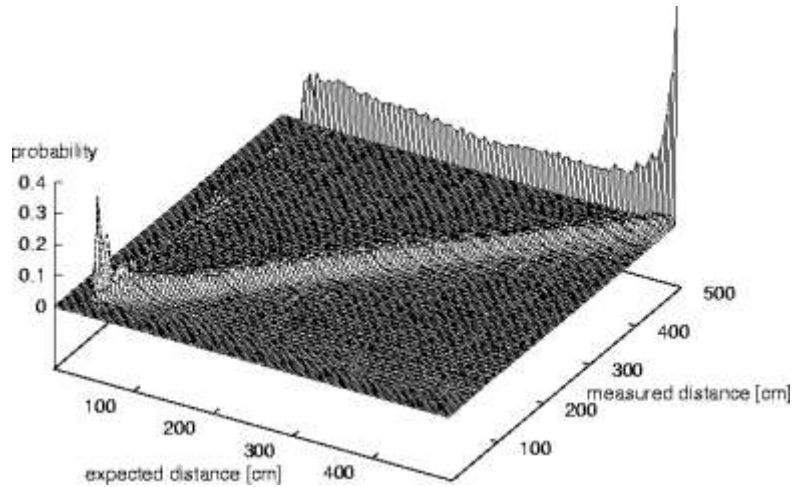


z

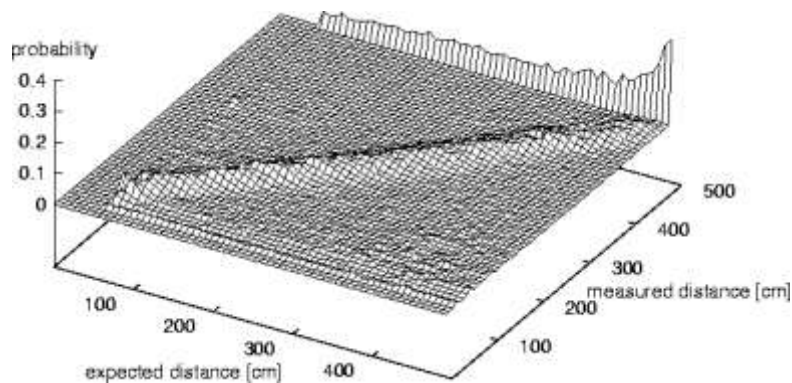
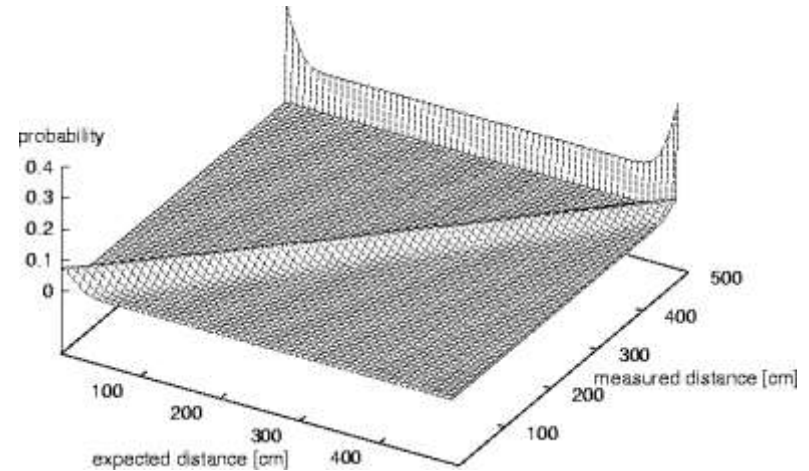


$P(z|x,m)$

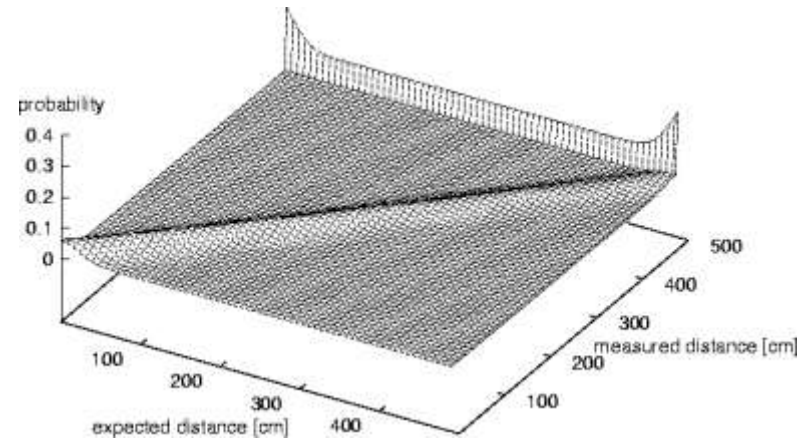
Aproximación - Resultados



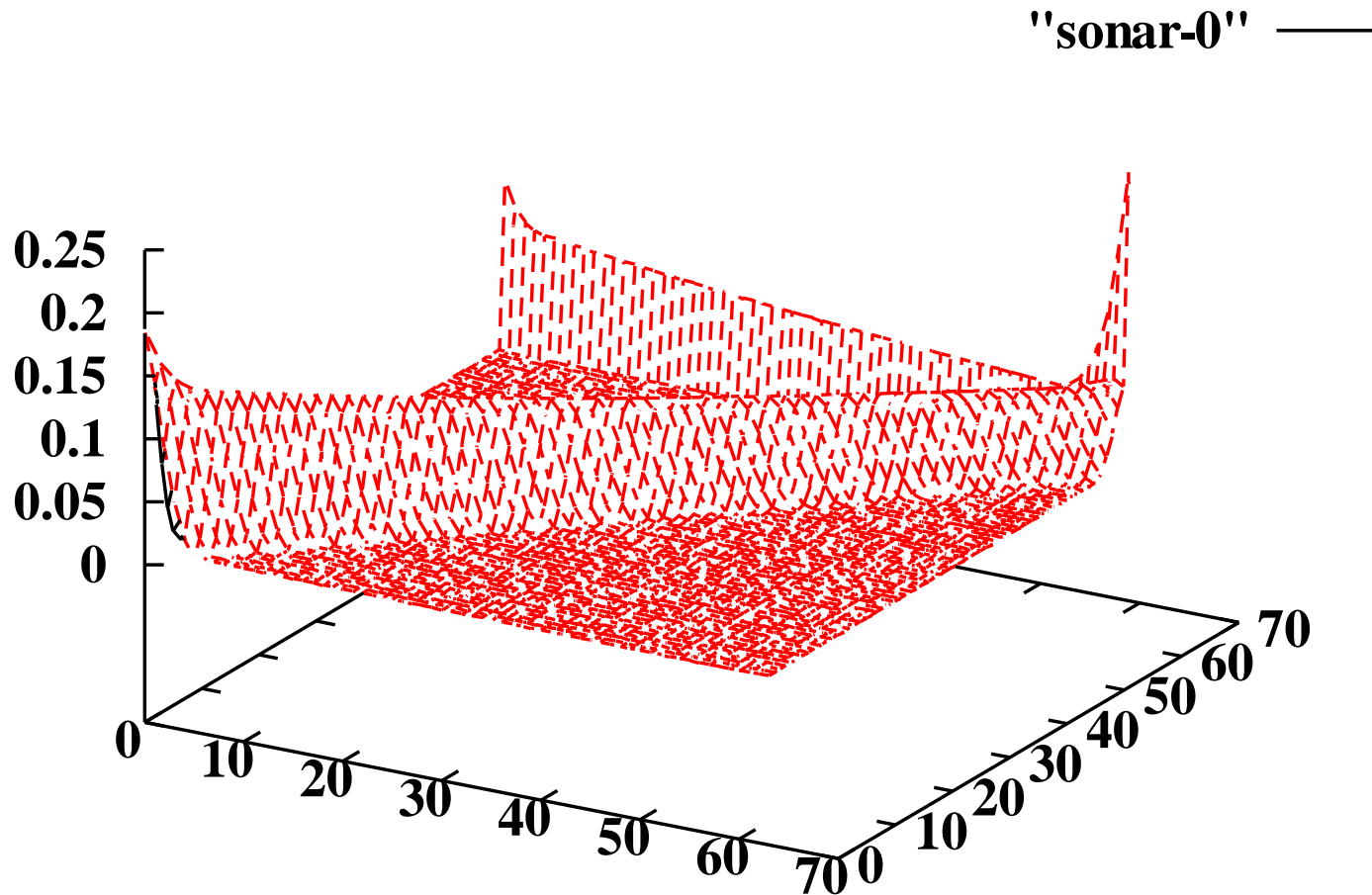
Laser



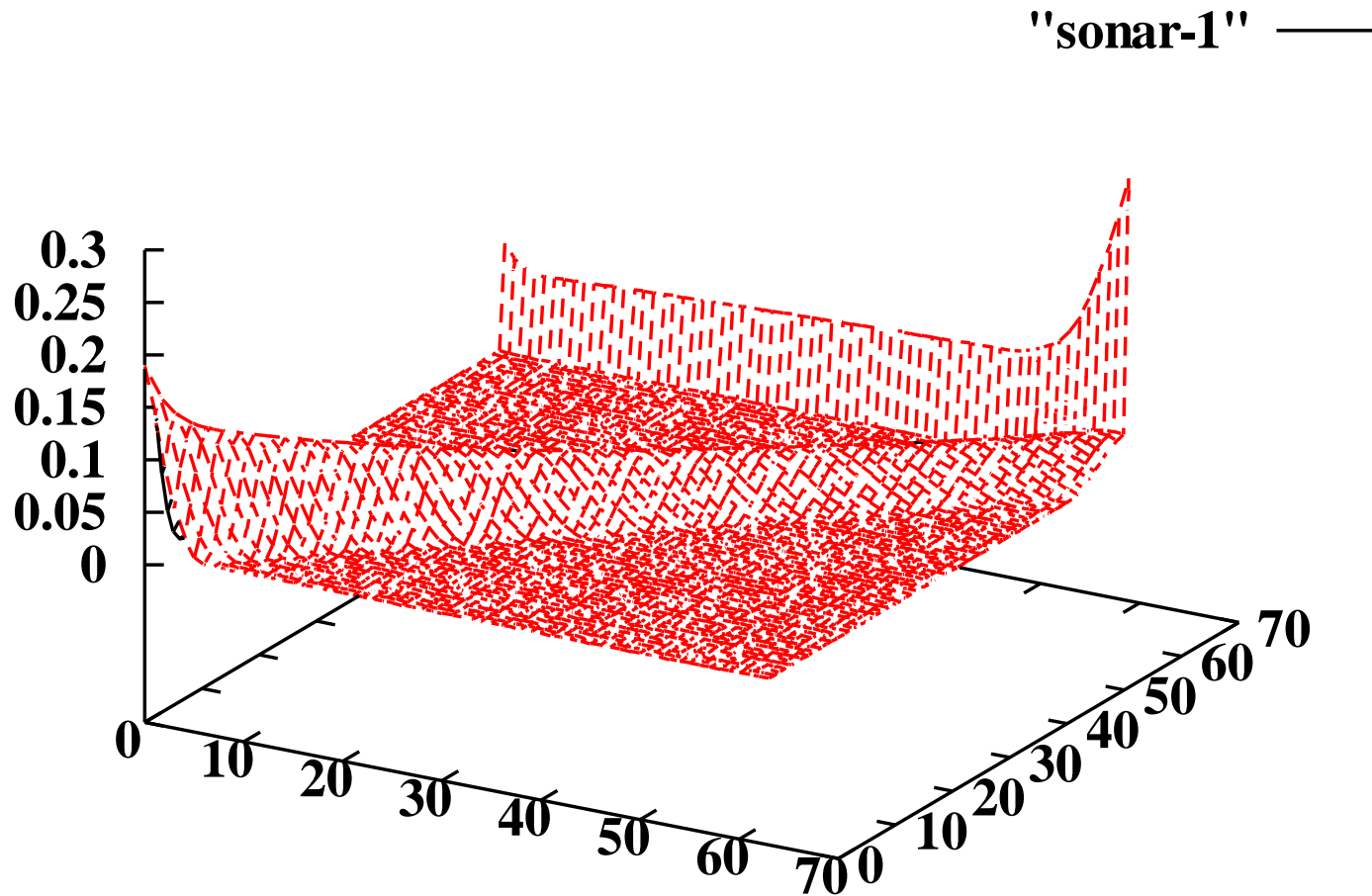
Sonar



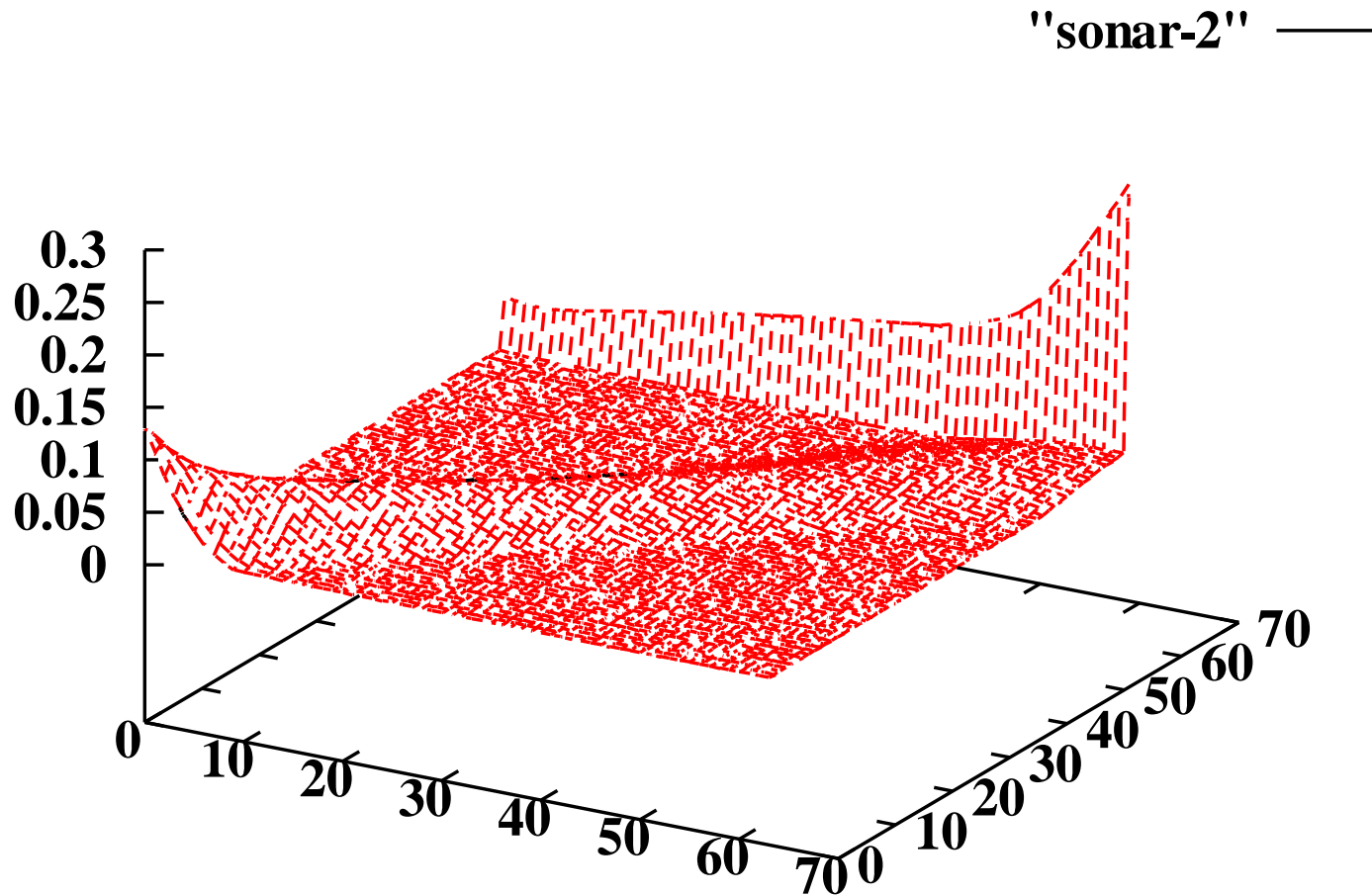
Influencia el ángulo al obstáculo



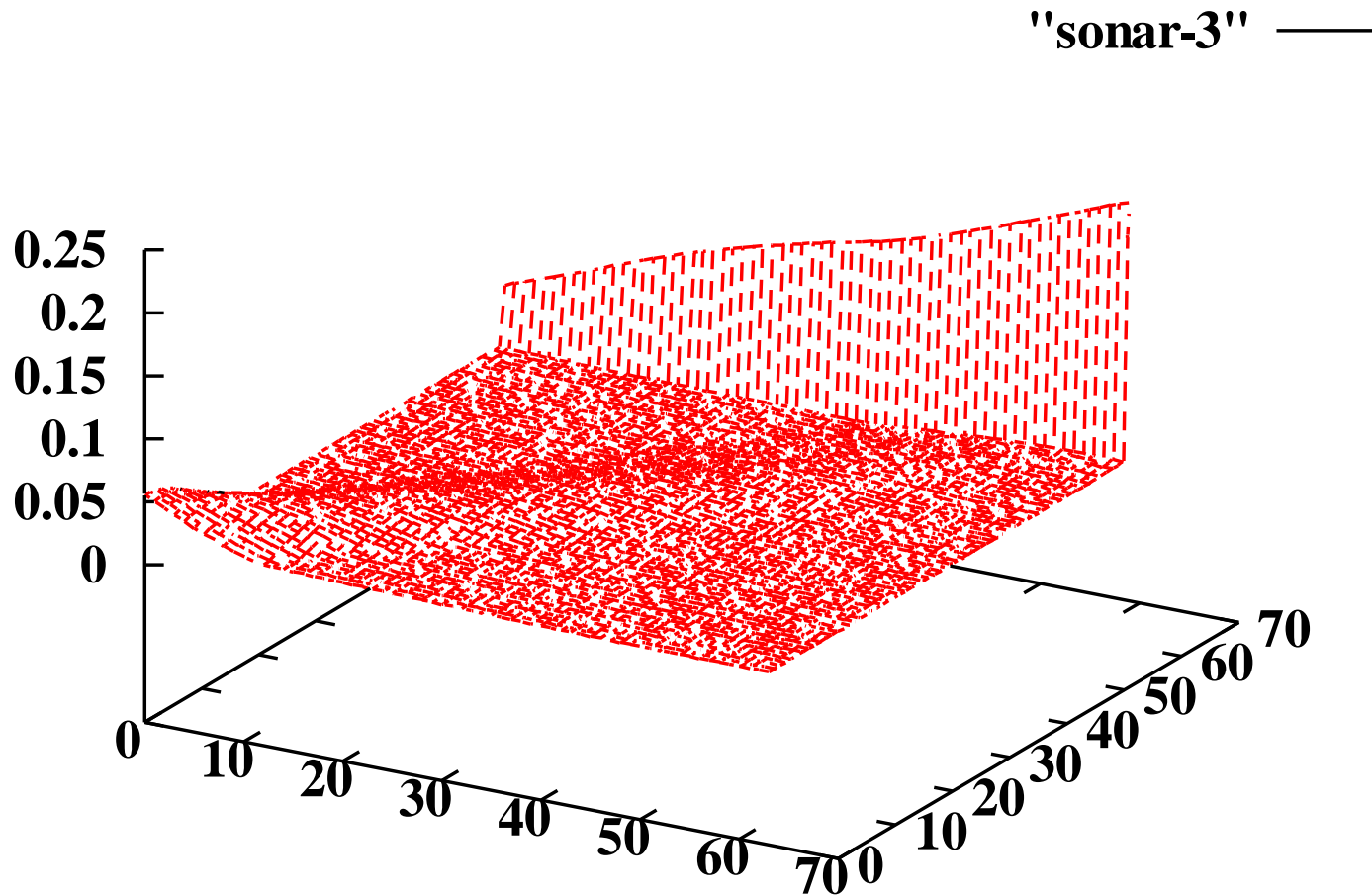
Influencia el ángulo al obstáculo



Influencia el ángulo al obstáculo



Influencia el ángulo al obstáculo

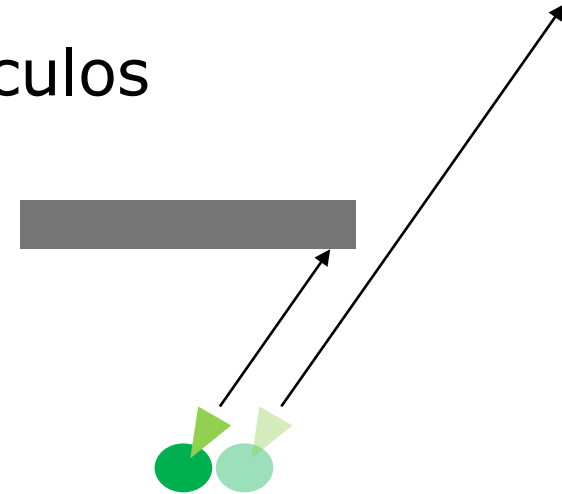


Resumen del modelo basado en haz (beam-based)

- Supone independencia entre haces.
 - ¿Justificación?
 - ¿No será mucho...?
- Modela las causas físicas de las mediciones.
 - Mezcla de densidades de estas causas.
 - Supone independencia entre causas. ¿Esta bien eso?
- Implementación
 - Aprender parámetros basándose en datos reales.
 - Determinación de distancias esperadas haciendo ray-casting.
 - Diferentes modelos para diferentes ángulos en los que el haz detecta el obstáculo.
 - Las distancias esperadas pueden ser pre-procesadas

Modelo basado en Escaneo (scan-based)

- El modelo basado en haz es ...
 - Poco suave para pequeños obstáculos y en bordes.
 - Poco eficiente.

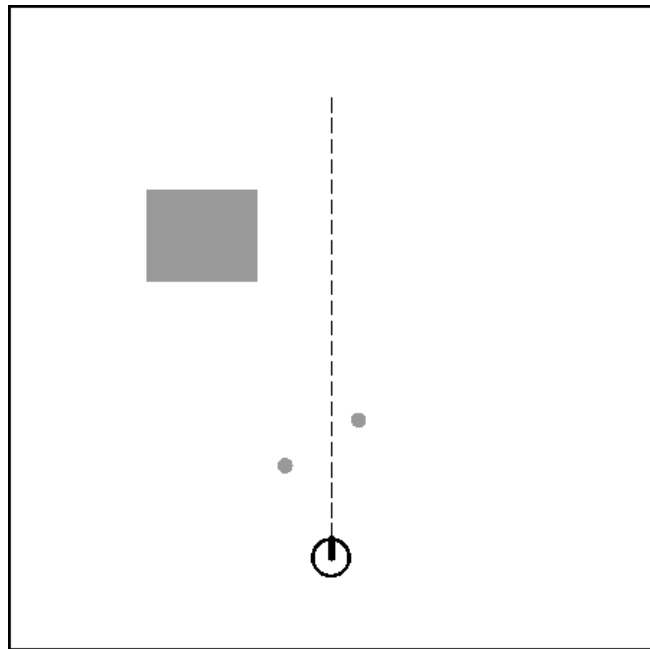


- **Idea:** En vez de mirar a lo largo del haz, chequear solo el punto final.

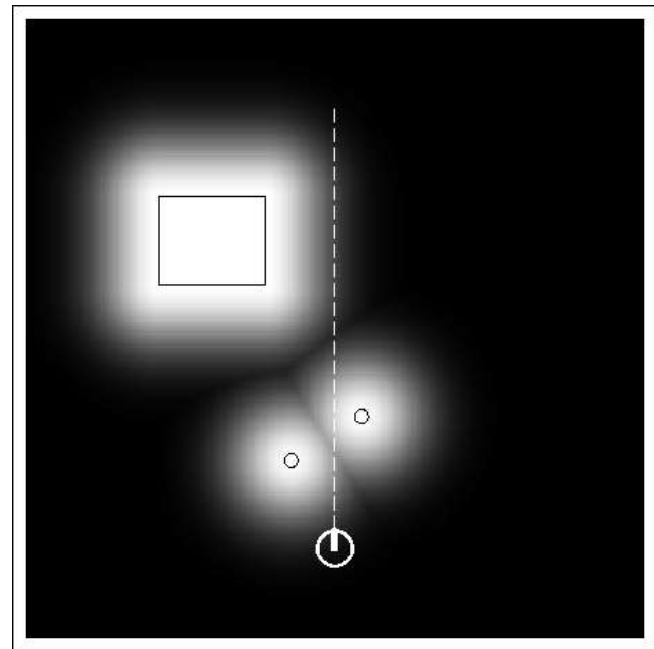
Modelo basado en escaneo

- La probabilidad es una mezcla de ...
 - Una distribución Gaussiana centrada en el **obstáculo más cercano**,
 - Una distribución uniforme por mediciones aleatorias y
 - Una distribución uniforme reducida para mediciones de rango máximo.
- De nuevo, se asume independencia entre los distintos componentes.

Ejemplo

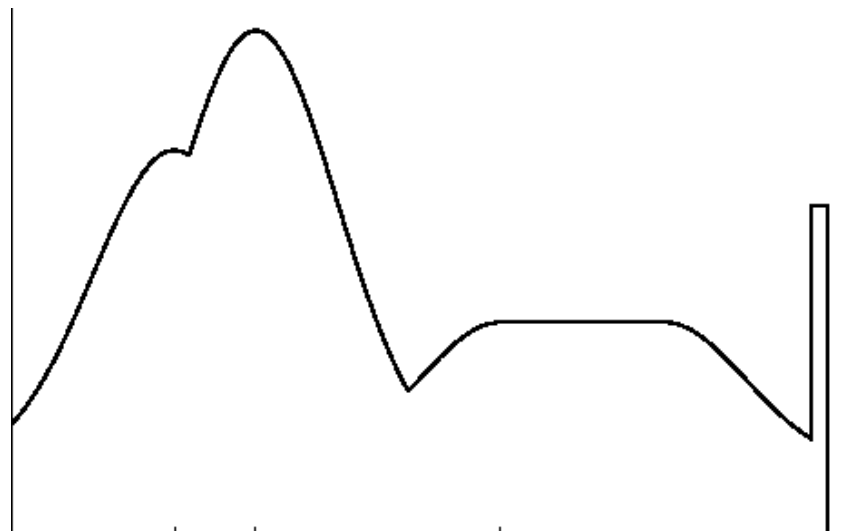


Mapa m

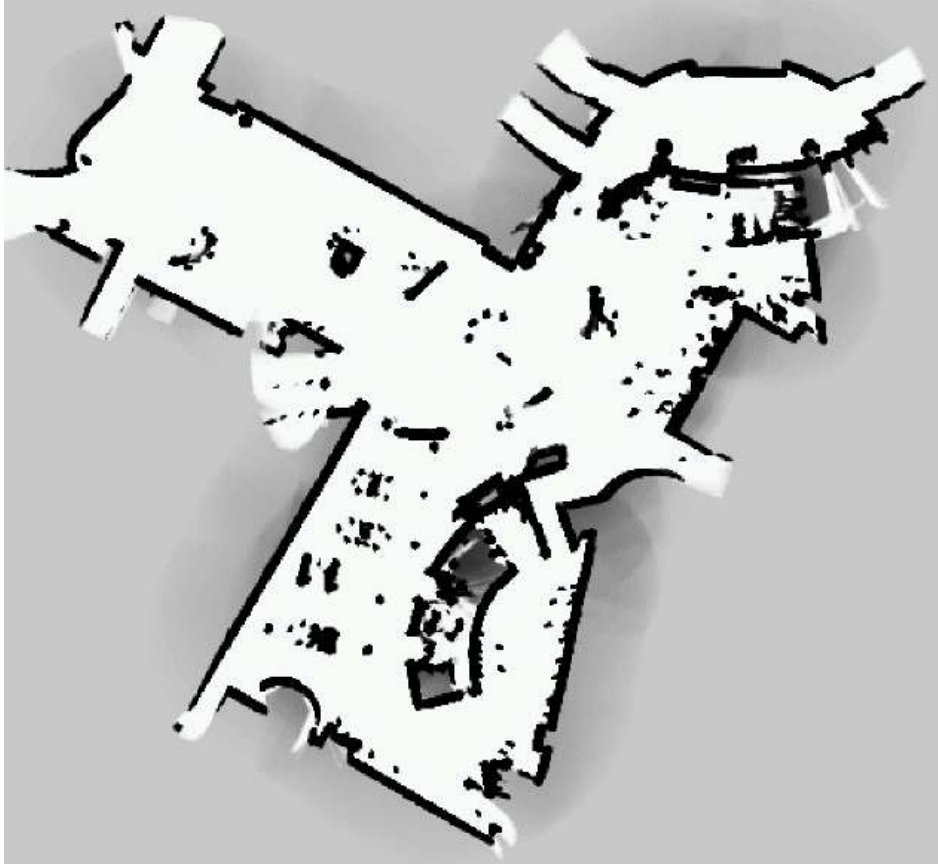


Campo de verosimilitud
(likelihood field)

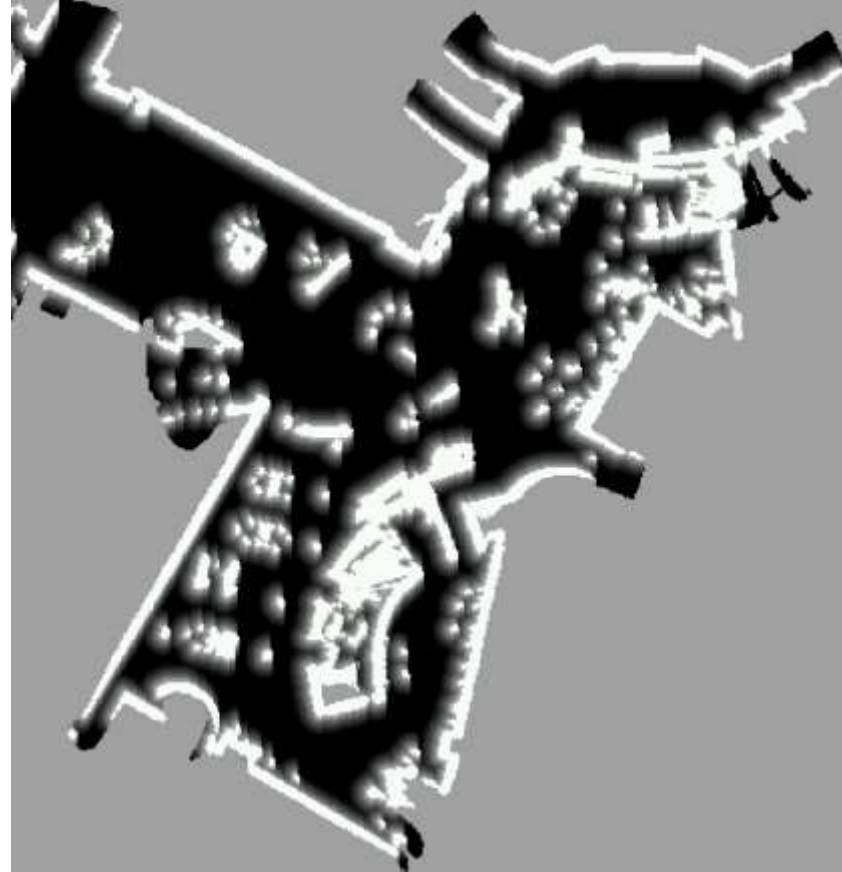
$$P(z|x,m)$$



Museo Tecnológico de San José (CA, USA)



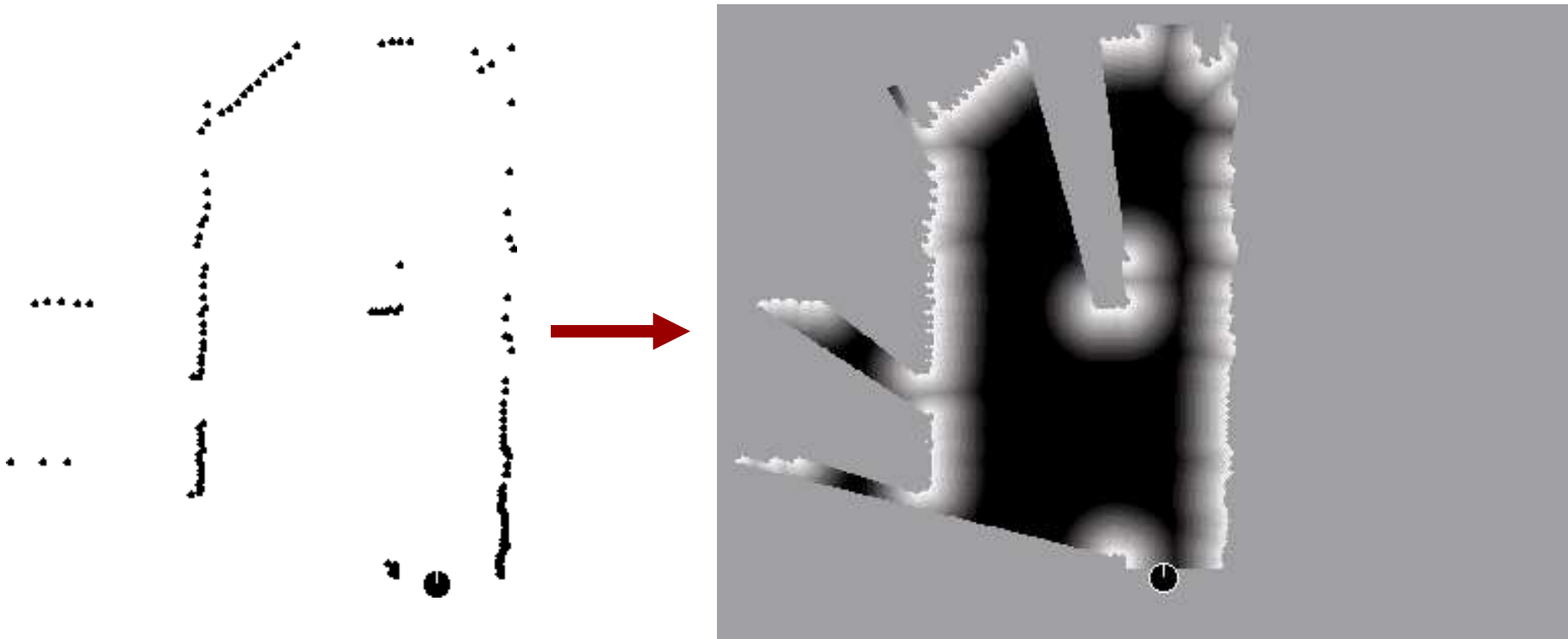
Mapa de grilla de ocupación



Campo de verosimilitud

Macheo de escaneo

- Extracción del campo de verosimilitud de un escaneo y comparación con otro escaneo previo



Propiedades del modelo basado en escaneo

- Muy eficiente, sólo usa tablas de 2D.
- La grilla de distancias es suave con respecto a pequeñas variaciones en la pose del robot.
- Permite macheo de escaneos.
- Ignora las propiedades físicas del haz.

Otros modelos de sensores de proximidad

- **Macheo de mapas (sonar, laser):** generar pequeños mapas locales con los datos del sensor y machear ese mapa con un modelo global.
- **Macheo de escaneo (laser):** el mapa se representa por puntos de medición, y se machean escaneos con este mapa.
- **Características o Features (sonar, laser, visión):** Extracción de características (puertas, pasillos, etc.) de los datos del sensor.

Marcadores (o landmarks)

- Balizas activas (radio, GPS)
- Pasivo (visual, retro-reflexivo)
- Método más común: **triangulación**
- El sensor provee
 - distancia
 - orientación
 - distancia y orientación.

Distancia y orientación



Sony Aibo



Modelo probabilístico

1. Algoritmo **landmark_detection_model**(z,x,m):

$$z = \langle i, d, \alpha \rangle, x = \langle x, y, \theta \rangle$$

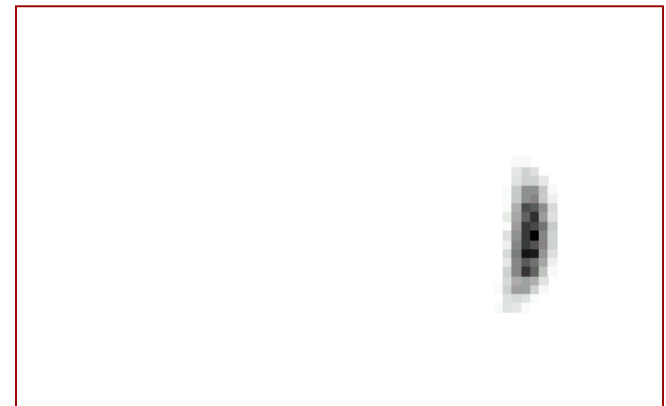
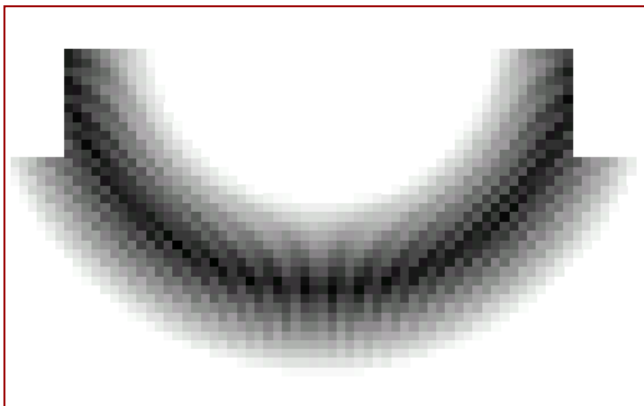
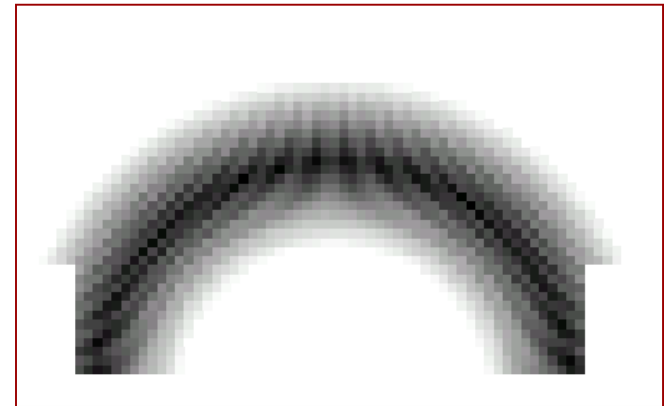
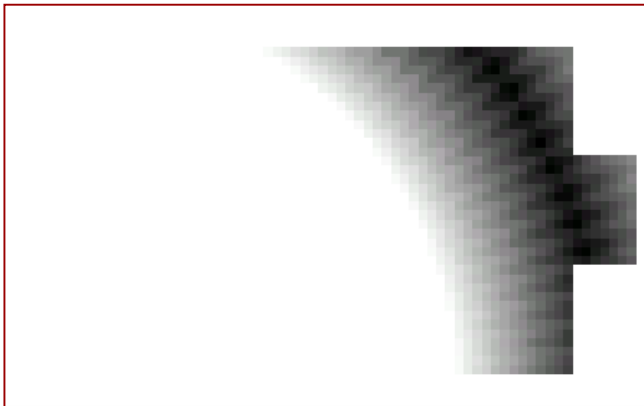
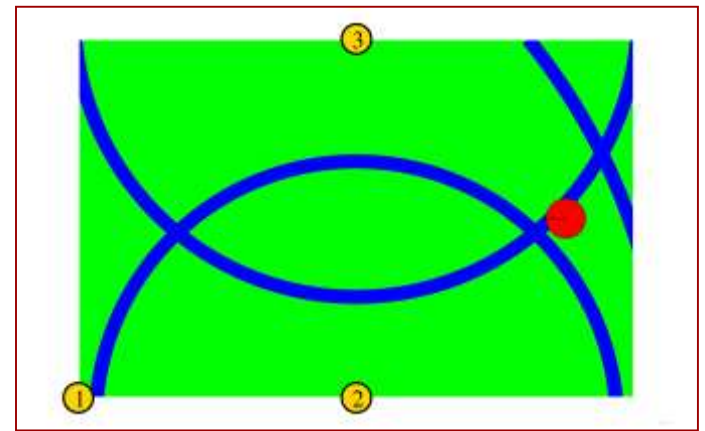
2.
$$\hat{d} = \sqrt{(m_x(i) - x)^2 + (m_y(i) - y)^2}$$

3.
$$\hat{\alpha} = \text{atan2}(m_y(i) - y, m_x(i) - x) - \theta$$

4.
$$p_{\text{det}} = \text{prob}(\hat{d} - d, \varepsilon_d) \cdot \text{prob}(\hat{\alpha} - \alpha, \varepsilon_\alpha)$$

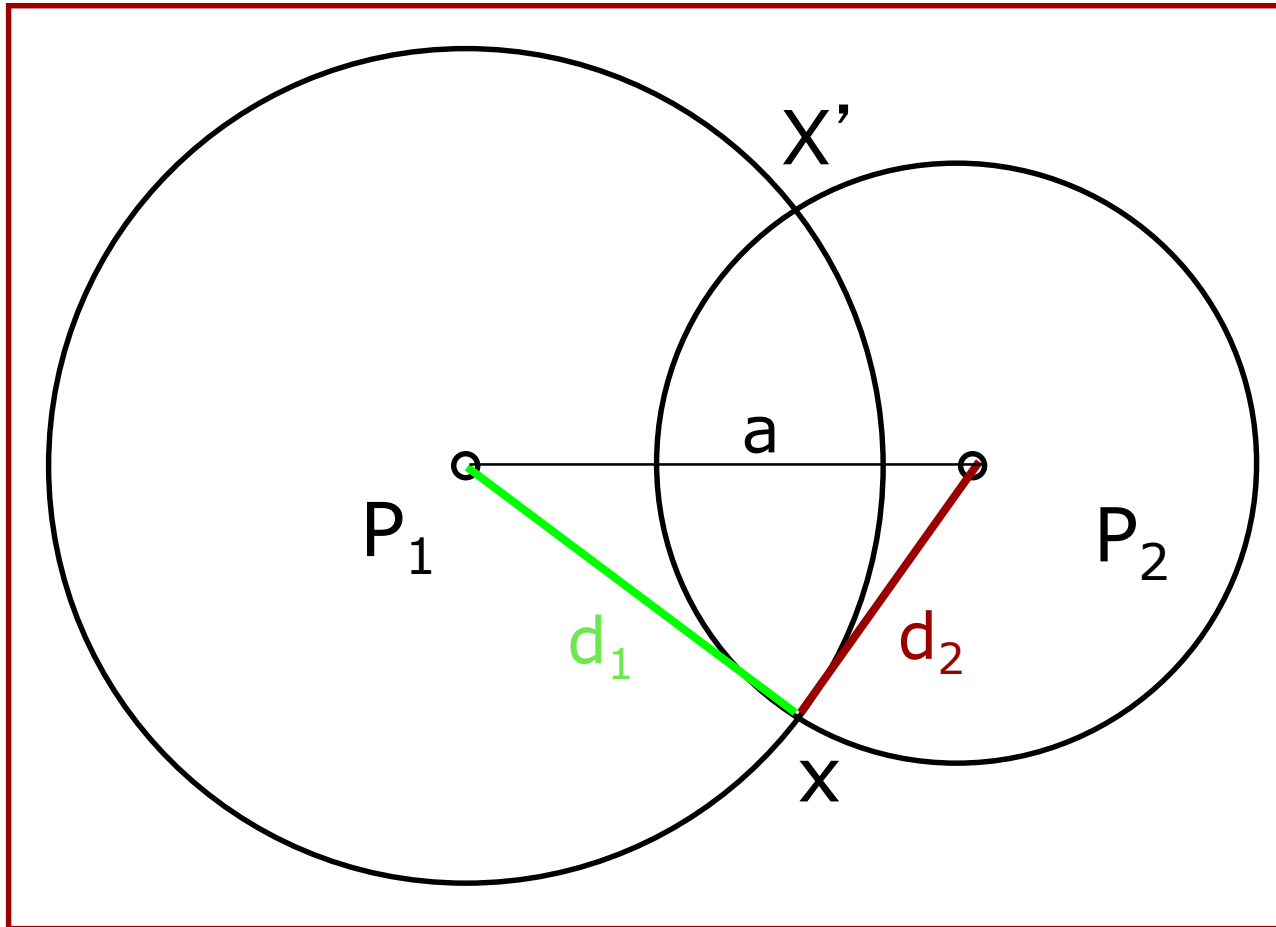
5. Return p_{det}

Distribuciones



Solo distancia sin incerteza

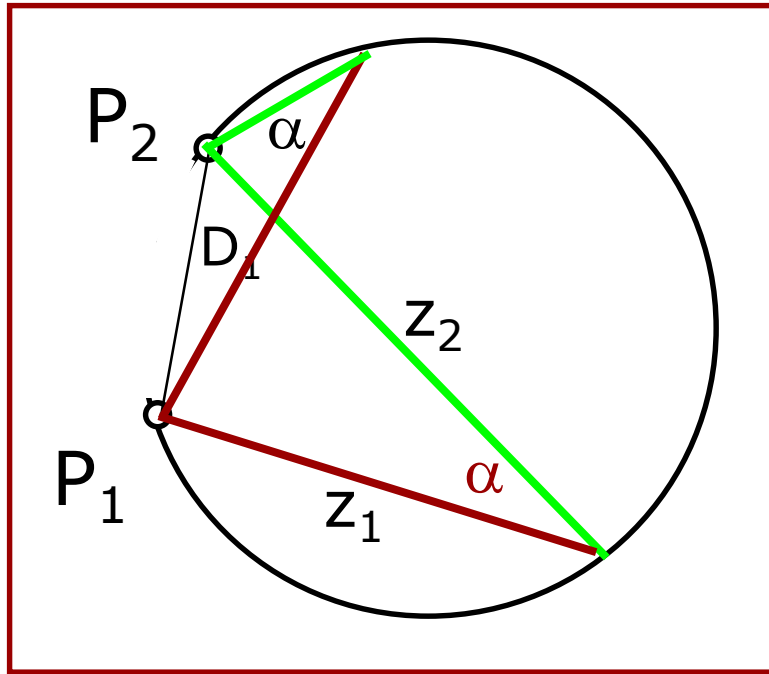
$$x = (a^2 + d_1^2 - d_2^2) / 2a$$
$$y = \pm \sqrt{(d_1^2 - x^2)}$$



$$P_1 = (0, 0)$$

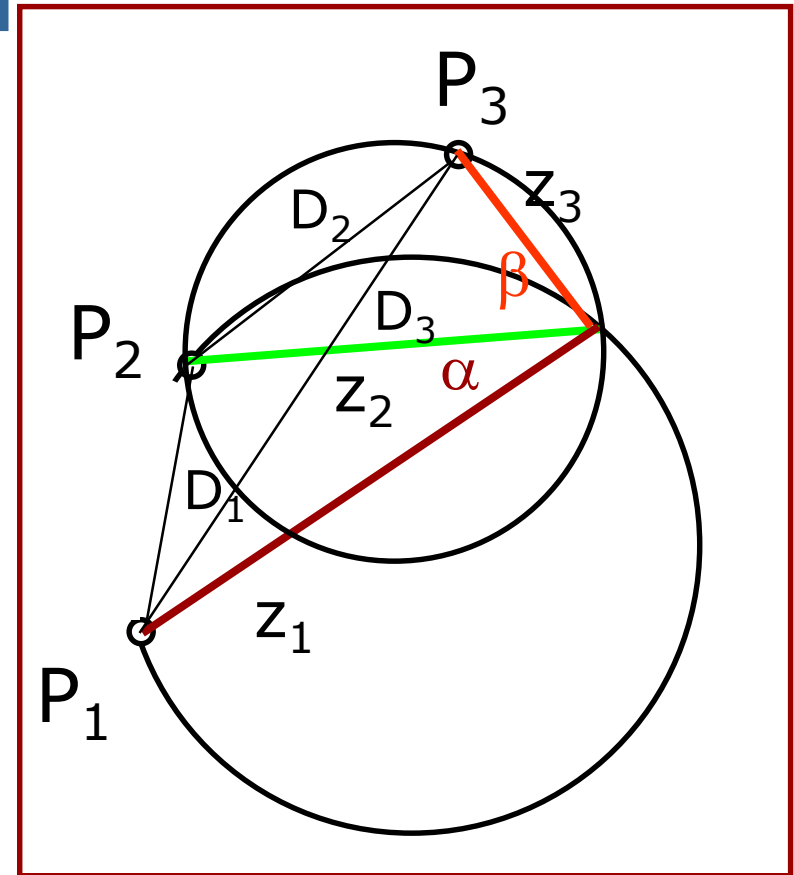
$$P_2 = (a, 0)$$

Solo orientación sin incerteza



Ley de cosenos

$$D_1^2 = z_1^2 + z_2^2 - 2 z_1 z_2 \cos \alpha$$

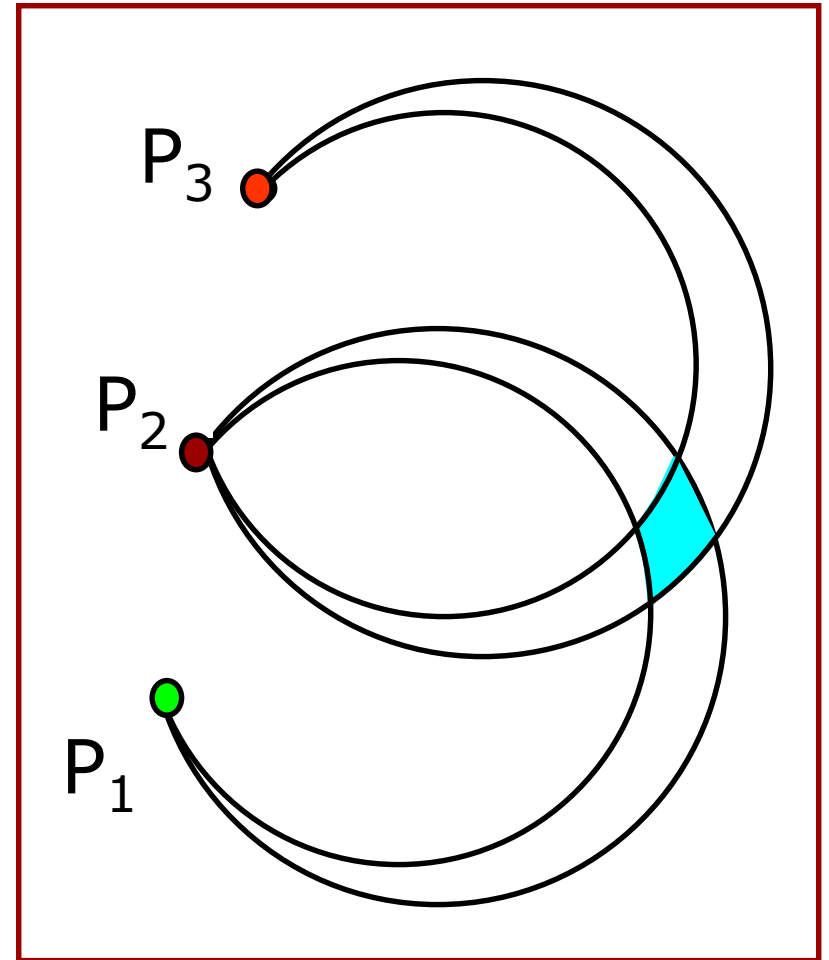
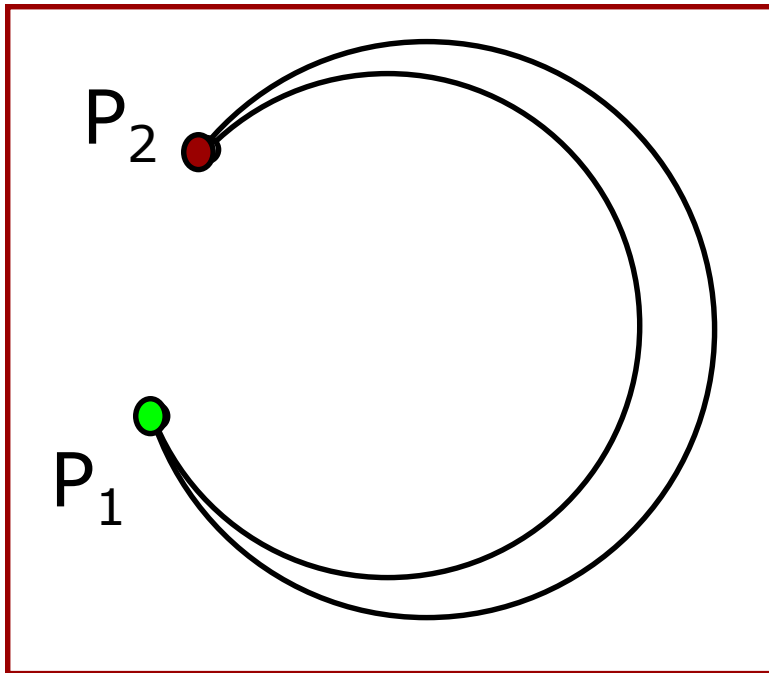


$$D_1^2 = z_1^2 + z_2^2 - 2 z_1 z_2 \cos(\alpha)$$

$$D_2^2 = z_2^2 + z_3^2 - 2 z_2 z_3 \cos(\beta)$$

$$D_3^2 = z_1^2 + z_3^2 - 2 z_1 z_3 \cos(\alpha + \beta)$$

Solo orientación con incerteza



En general se busca estimar la media.

Resumen de modelos de sensores

- Modelado explícito de la incerteza en el sensado.
- Muchas veces para tener un buen modelo se busca:
 1. Determinar un modelo paramétrico de la medición sin ruido.
 2. Analizar las fuentes de ruido.
 3. Agregar ruidos adecuados a los parámetros (posiblemente mezclar distribuciones de ruido).
 4. Aprender (y verificar) los parámetros ajustando el modelo a datos.
 5. La probabilidad de la medición está dada por la comparación de una medición dada con la esperada.
- Esto también se cumple para modelos de movimiento.
- Es importante considerar las suposiciones!