

Olasılıksal Robotik

Dr. Öğr. Üyesi Erkan Uslu

Sensör Modeli

- Filtrelerde robot hareketi ile ilgili correction adımında kullandığımız modeller → Sensör Modelleri

$$p(z_t | x_t)$$

$$p(z_t | x_t, m)$$

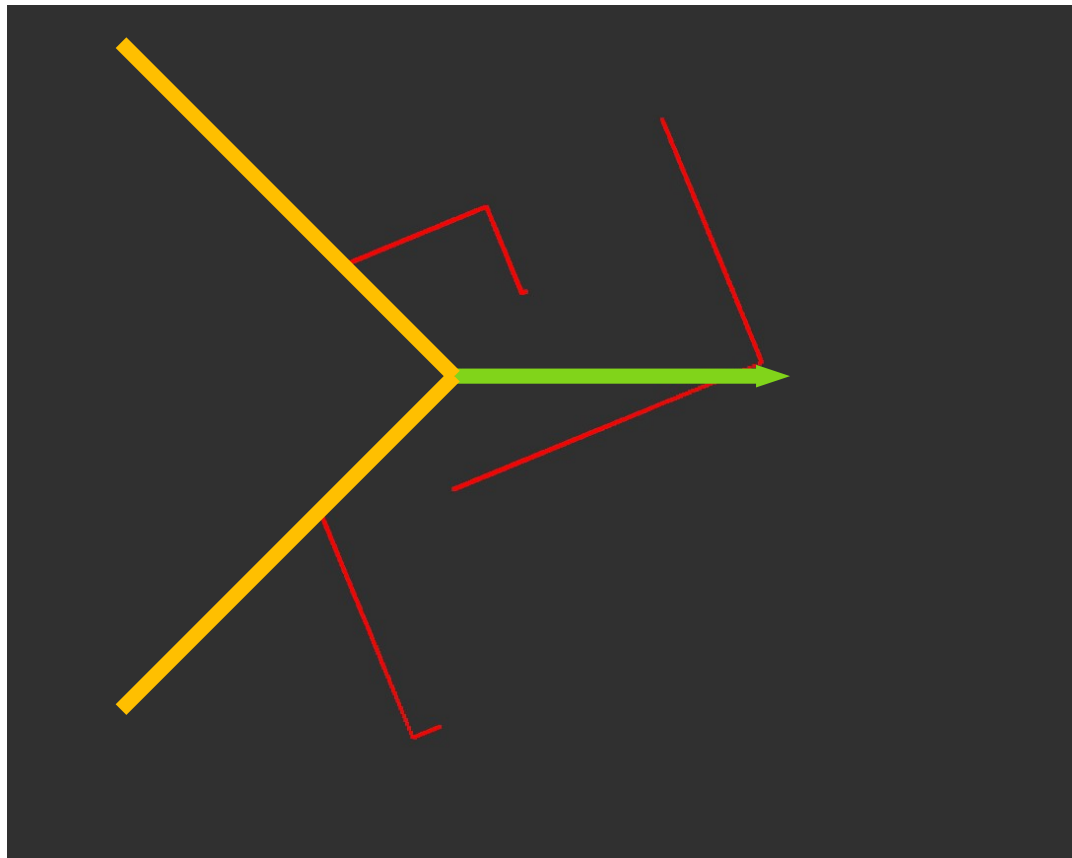
- Sensör ölçümü fiziki ortama göre tanımlanabileceği gibi, harita temsiline göre de yapılabilir

Sensörler

- Ultrasonik sensör
- Lazer mesafe sensörü
- Kamera
- Derinlik sensörü

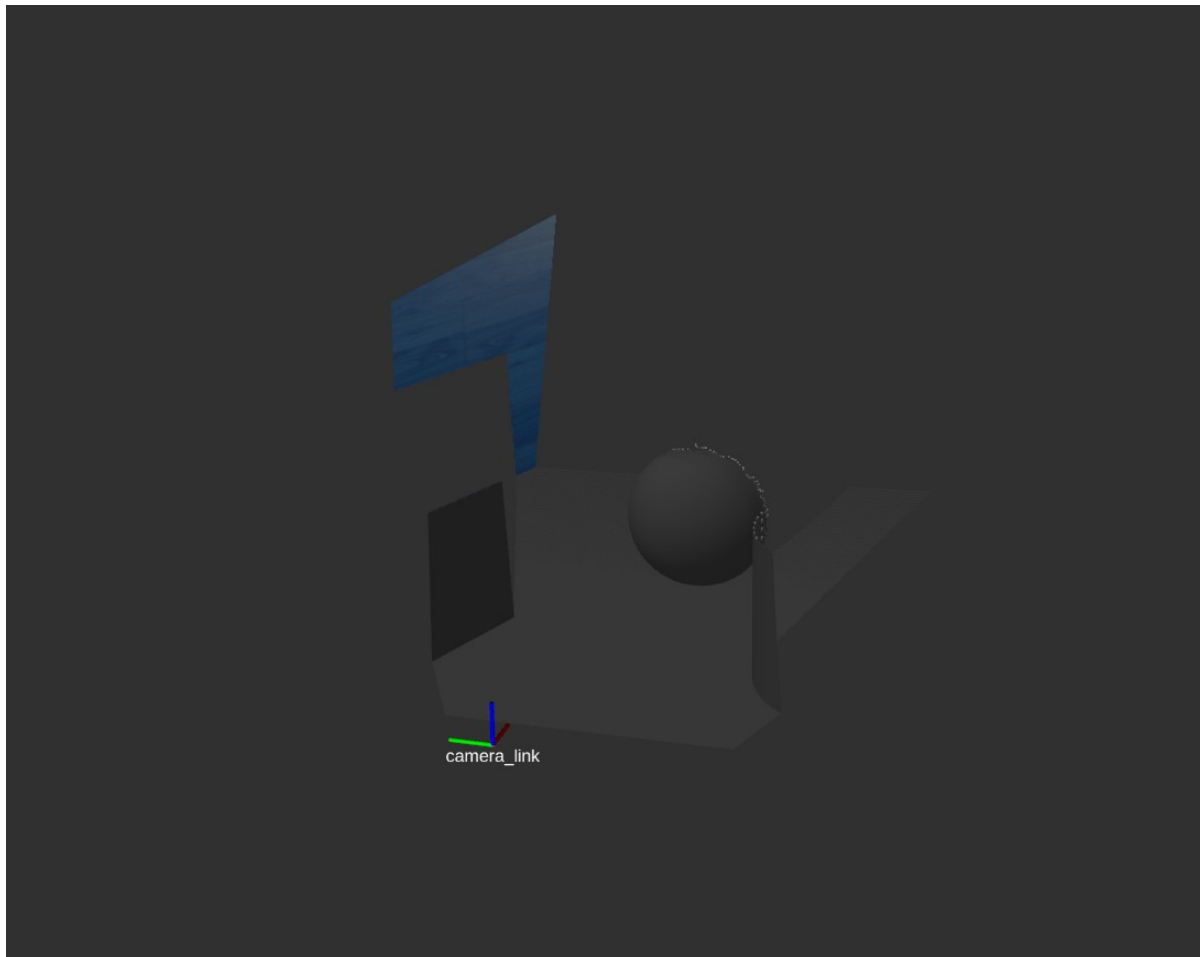
Lazer Mesafe Sensörü

- Uzaklık=[2.3, 2.31, 2.32, ... , 1.2, 1.1]
- Açılar=[-135, -134, ..., 134, 135]



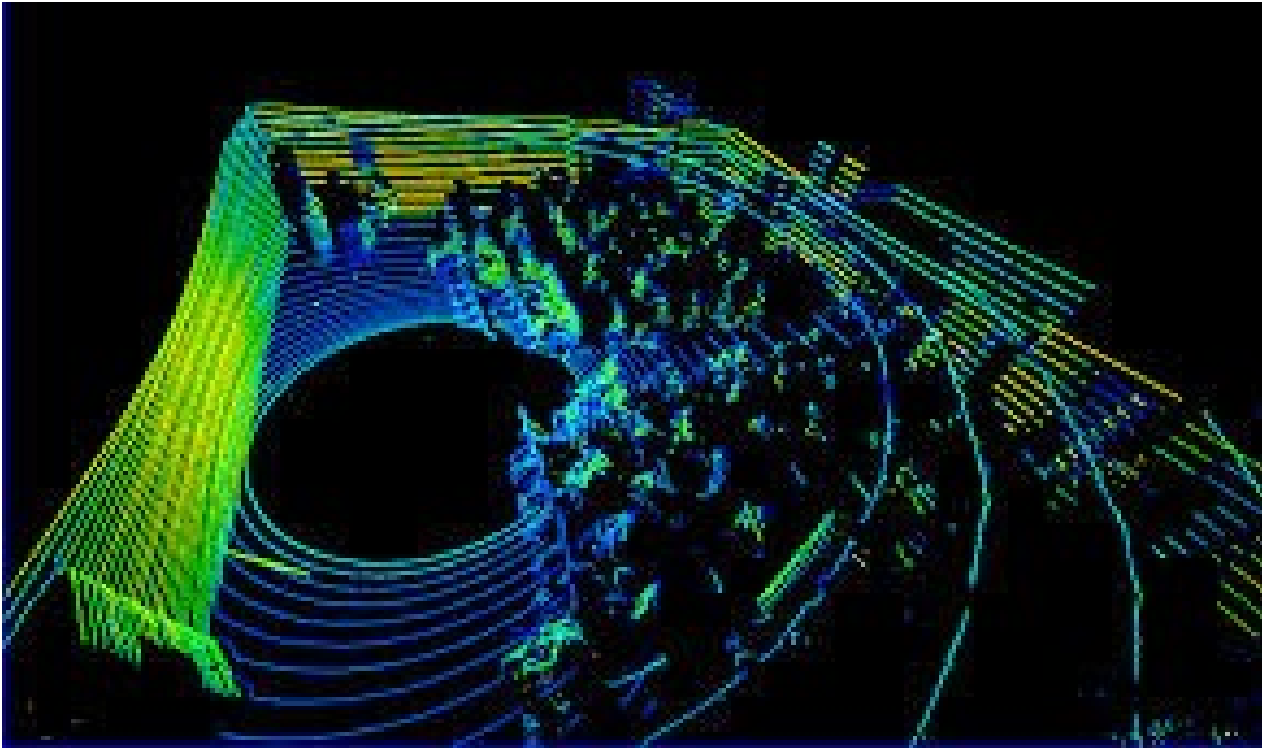
RGBD Sensörü

- $Veri = [(x_0, y_0, z_0, r_0, g_0, b_0), \dots, (x_n, y_n, z_n, r_n, g_n, b_n)]$



Derinlik Sensörü

- $Veri = [(x_0, y_0, z_0), \dots, (x_n, y_n, z_n)]$



Lazer Mesafe Sensörü

- Her bir ölçüm bir mesafe dizisi olarak elde edilir

$$z_t = \{z_t^1, z_t^2, \dots, z_t^K\}$$

- Mesafe ölçümleri birbirinden bağımsız kabul edilebilir

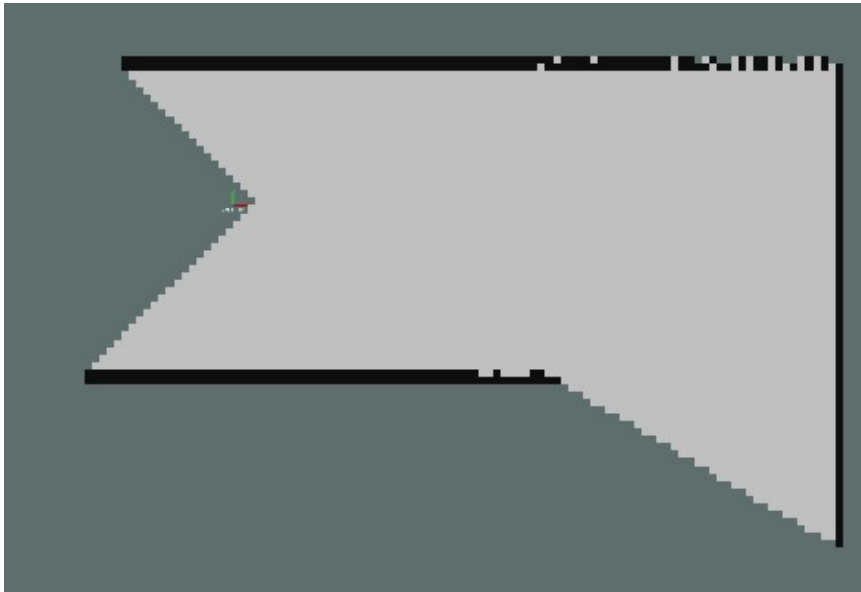
$$p(z_t | x_t, m) = \prod_{k=1}^K p(z_t^k | x_t, m)$$

Harita Temsili

- **Volumetrik (Volumetric) Haritalar:**
 - Haritalanabilir alandaki boş alanlar ve objeler/engellere ilişkin bilgi içerir
- **Özellik Tabanlı (Feature-Based) Haritalar:**
 - Sadece belirli objeler/engellere ilişkin bilgi içerir

Harita Temsili

- Volumetrik (Volumetric) Haritalar:



- Özellik Tabanlı (Feature-Based) Haritalar:



Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

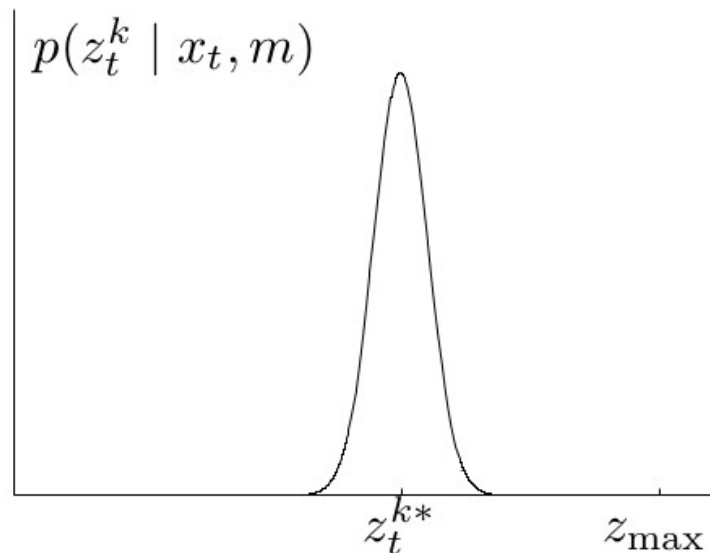
- Lazer mesafe sensörünün her bir mesafe ölçümü
 - Mevcut engeli belirli bir hata ile ölçme olasılığı
 - Haritada bulunmayan dinamik bir engeli ölçme olasılığı
 - Yansıma vb sebeplerle hatalı okuma olasılığı
 - Rasgele değer okuma olasılığı

$$p(z_t^k | x_t, m) = \alpha_{hit} \cdot p_{hit}(z_t^k | x_t, m) + \alpha_{short} \cdot p_{short}(z_t^k | x_t, m) + \alpha_{max} \cdot p_{max}(z_t^k | x_t, m) + \alpha_{rand} \cdot p_{rand}(z_t^k | x_t, m)$$
$$\alpha_{hit} + \alpha_{short} + \alpha_{max} + \alpha_{rand} = 1$$

Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

- Mevcut engeli belirli bir hata ile ölçme olasılığı

(a) Gaussian distribution p_{hit}

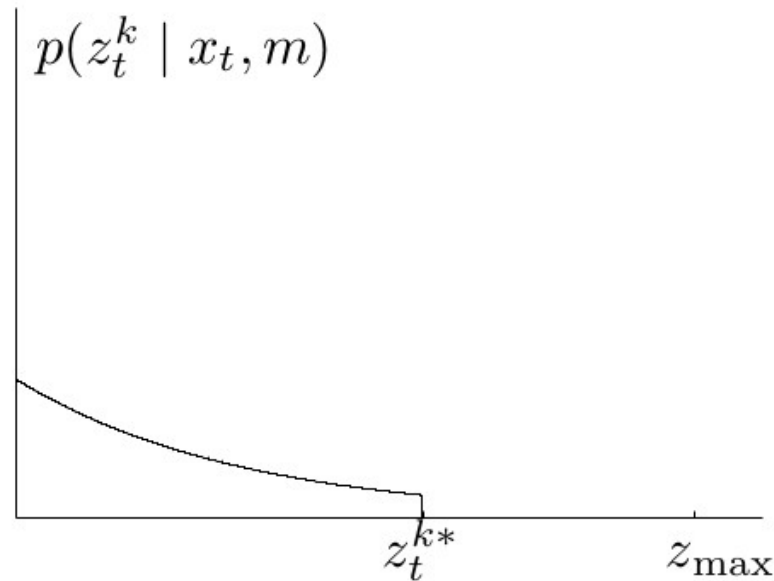


$$p_{short}(z_t^k | x_t, m) = \begin{cases} \eta \mathcal{N}(z_t^k; z_t^{k*}, \sigma_{hit}^2) & , 0 \leq z_t^k \leq z_{max} \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases}$$

Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

- Haritada bulunmayan dinamik bir engeli ölçme olasılığı

(b) Exponential distribution p_{short}

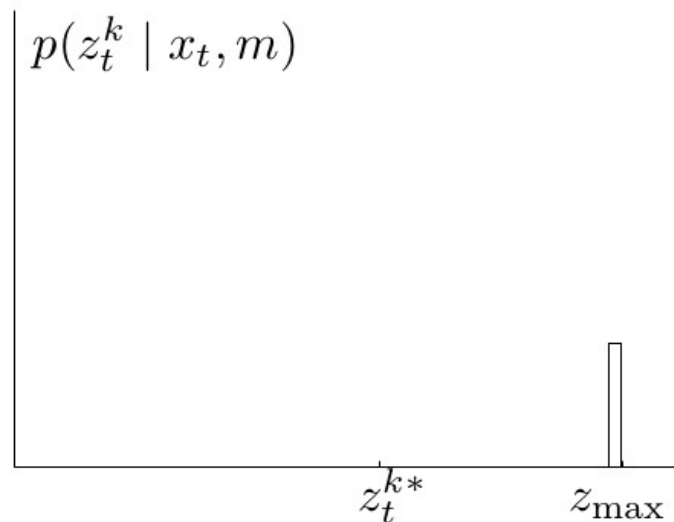


$$p_{short}(z_t^k | x_t, m) = \begin{cases} \eta \lambda_{short} e^{-\lambda_{short} z_t^k} & , 0 \leq z_t^k \leq z_{max} \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases}$$

Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

- Yansıma vb sebeplerle hatalı okuma olasılığı

(c) Uniform distribution p_{\max}

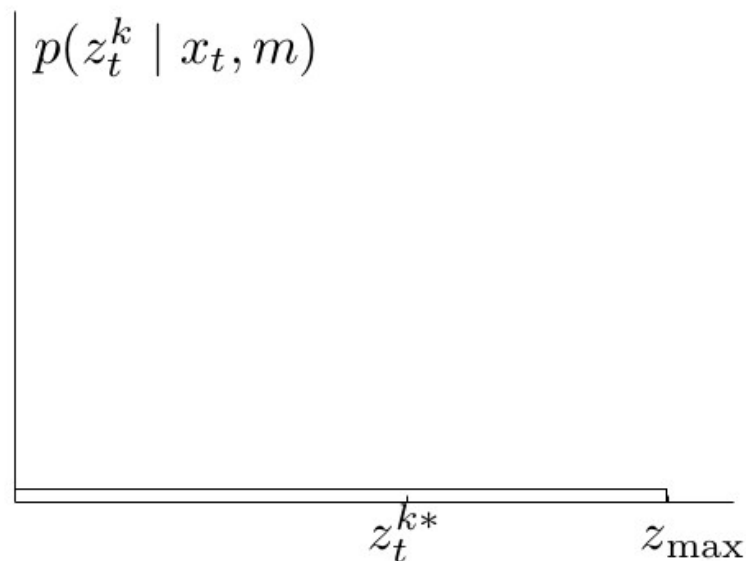


$$p_{short} (z_t^k | x_t, m) = \begin{cases} 1 & , z_t^k = z_{\max} \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases}$$

Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

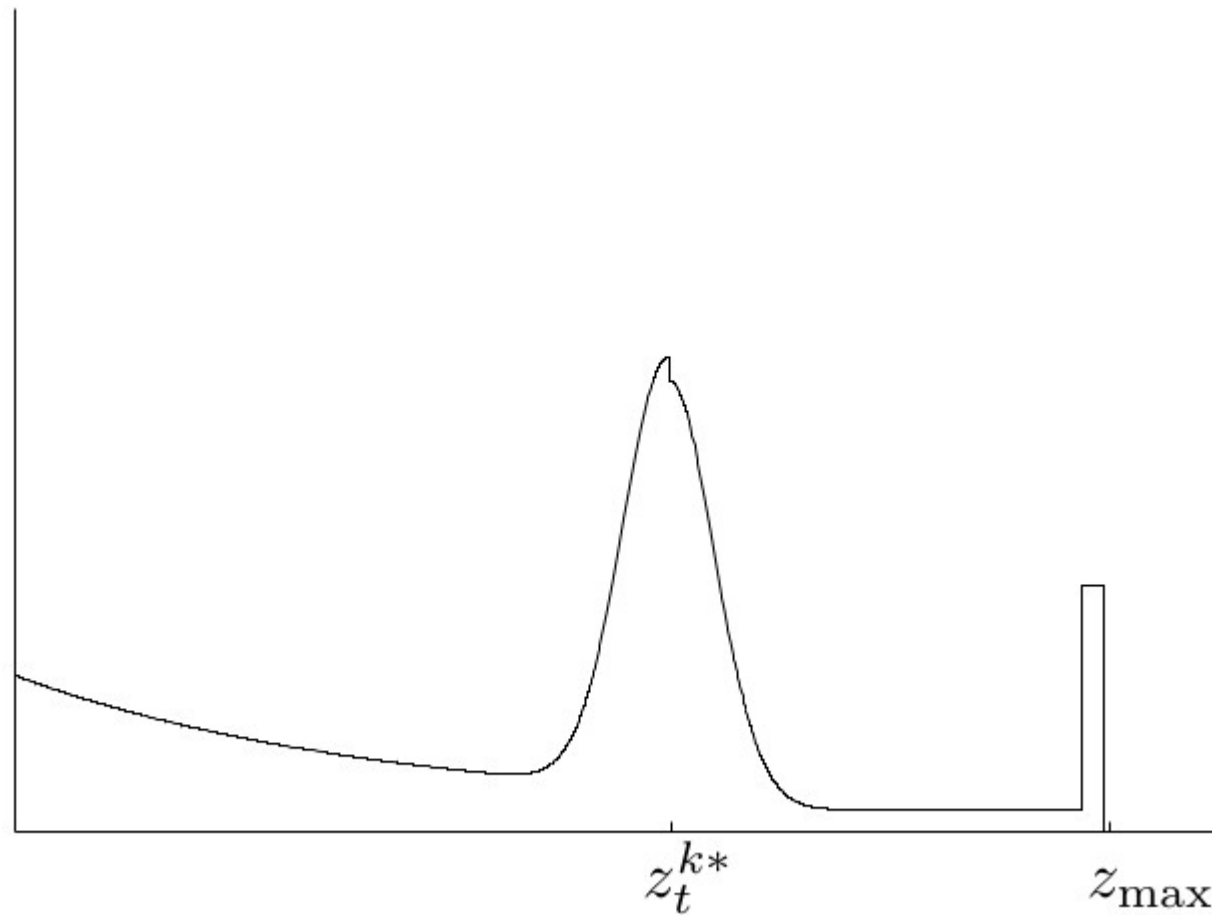
- Rasgele değer okuma olasılığı

(d) Uniform distribution p_{rand}



$$p_{\text{short}}(z_t^k | x_t, m) = \begin{cases} \frac{1}{z_{\max}} & , 0 \leq z_t^k \leq z_{\max} \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases}$$

Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli



Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

- Işın sensör modeli için aşağıdaki iç parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir

α_{hit}

α_{short}

σ_{hit}

λ_{short}

α_{max}

α_{rand}

Lazer Mesafe Sensörü – Işın Sensör Modeli

- Yumuşak bir olasılık geçişi yer yer yoktur

$$p(z_t^k | x_t, m) \simeq p(z_t^k | x_t, m)^\alpha, \alpha < 1$$

- Herbir ölçüm için ışın sensör modeli yüksek hesaplama karmaşıklığına sebep olur
 - Durum uzayını kaba aralıklarda ayırıklaştırma

Lazer Mesafe Sensörü – Olabilirlik Alanları (Likelihood Fields) Modeli

- 2B uzayda konumu x, y, θ olan robotun üzerinde robota göre $x_{\text{sense}}, y_{\text{sense}}$ konumuna yerleştirilmiş lazer mesafe sensörünün θ_{sense} açısından alınan z ölçümünün global koordinat sistemindeki karşılığı:

$$\begin{pmatrix} x_{z_t^k} \\ y_{z_t^k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_{k,\text{sense}} \\ y_{k,\text{sense}} \end{pmatrix} + z_t^k \begin{pmatrix} \cos (\theta + \theta_{k,\text{sense}}) \\ \sin (\theta + \theta_{k,\text{sense}}) \end{pmatrix}$$

Lazer Mesafe Sensörü – Olabilirlik Alanları (Likelihood Fields) Modeli

Algorithm 1: Likelihood Fields Sensör Modeli

```
input  :  $z_t, x_t, m$ 
output:  $q$ 
1  $q \leftarrow 1$ ;
2 forall  $k$  do
3   if  $z_t^k \neq z_{max}$  then
4      $x_{z_t^k} = x + x_{k,sense} \cos \theta - y_{k,sense} \sin \theta + z_t^k \cos (\theta + \theta_{k,sense})$  ;
5      $y_{z_t^k} = y + y_{k,sense} \cos \theta + x_{k,sense} \sin \theta + z_t^k \sin (\theta + \theta_{k,sense})$  ;
6      $dist = \min_{x', y'} \left\{ \sqrt{(x_{z_t^k} - x')^2 + (y_{z_t^k} - y')^2} \mid \langle x', y' \rangle \text{ m'de dolu} \right\}$  ;
7      $q = q \cdot \left( \alpha_{hit} \cdot \mathbf{prob}(dist, \sigma_{hit}) + \frac{\alpha_{random}}{z_{max}} \right)$  ;
8   end
9 end
```

Özellik Tabanlı (Feature Based) Sensör Modeli

- Önceki modeller işlenmemiş sensör ölçümlerini kullanır
- Alternatif olarak sensör ölçümlerinden özellik çıkarımı yapılabilir
- Özellik çıkarımı ile yüksek boyutlu ölçüm bilgisi kullanılarak düşük boyutlu özellikler elde edilebilir
- Önemli özellikler: çizgi, köşe vb
- Ölçümden özellik çıkarımı: $f(z_t) = \{f^1_t, f^2_t, \dots\}$

Özellik Tabanlı (Feature Based) Sensör Modeli

- Çıkarılan özel noktalar LANDMARK olarak isimlendirilir
- LANDMARK için RANGE-BEARING sensör modeli tanımlanabilir
- LANDMARK'lara ait aşağıdaki özellikler hesaplanır:
 - sensöre uzaklık (r),
 - sensörün hangi açısında olduğu (ϕ),
 - imzası (s)

Özellik Tabanlı (Feature Based) Sensör Modeli

- Ölçümden özellik çıkarımı: $f(z_t) = \{f^1_t, f^2_t, \dots\}$

$$f_t^i = \begin{pmatrix} r_t^i \\ \phi_t^i \\ s_t^i \end{pmatrix}$$

$$p \left(z_t \middle| x_t, m \right) =$$

$$= p \left(f(z_t) \middle| x_t, m \right)$$

$$= \prod_i p \left(r_t^i, \phi_t^i, s_t^i \middle| x_t, m \right)$$

Özellik Tabanlı (Feature Based) Sensör Modeli

- $(m_{j,x}, m_{j,y})$ konumundaki j . LANDMARK için, (x,y,θ) konumundaki robotun elde etmiş olduğu i . Özellik vektörü şu şekilde hesaplanır

$$\begin{pmatrix} r_t^i \\ \phi_t^i \\ s_t^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{(m_{j,x} - x)^2 + (m_{j,y} - y)^2} \\ \tan^{-1} \left(\frac{m_{j,y} - y}{m_{j,x} - x} \right) - \theta \\ s_j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{\sigma_r^2} \\ \varepsilon_{\sigma_\phi^2} \\ \varepsilon_{\sigma_s^2} \end{pmatrix}$$

- Burada $\varepsilon_{\sigma_r^2}, \varepsilon_{\sigma_\phi^2}, \varepsilon_{\sigma_s^2}$ sıfır ortalamalı $\sigma_r, \sigma_\phi, \sigma_s$ standart sapmalı hata terimleridir

Özellik Tabanlı (Feature Based) Sensör Modeli

- Yapılan bir ölçümde elde edilen özelliklerin hangi LANDMARK'a ait olduğu biliniyorsa bu durum özel bir durumdur
 - KNOWN-CORRESPONDENCE
- Yapılan bir ölçümde elde edilen özelliklerin hangi LANDMARK'a ait olduğu bilinmiyorsa bu durumda
 - DATA ASSOCIATION probleminin de çözülmesi gerekmektedir

Özellik Tabanlı (Feature Based) Sensör Modeli

Algorithm 1: Landmark, Range-Bearing, Known Correspondence
Sensör Modeli

input : $\langle r_t^i, \phi_t^i, s_t^i \rangle, c_t^i, x_t, m$

output: q

1 $j = c_t^i$;

2 $\hat{r} = \sqrt{(m_{j,x} - x)^2 + (m_{j,y} - y)^2}$;

3 $\hat{\phi} = \tan^{-1} \left(\frac{m_{j,y} - y}{m_{j,x} - x} \right)$;

4 $q = \text{prob} (r_t^i - \hat{r}, \sigma_r) \cdot \text{prob} (\phi_t^i - \hat{\phi}, \sigma_\phi) \cdot \text{prob} (s_t^i - s_j, \sigma_s)$;
