

Robot Tasarımı ve Uygulamaları – Vize Soruları

Furkan HANILÇI

Soru 1: Kinematik Kontrol ve Pure Pursuit (PP) Uygulaması

Ortak Verilenler (Kinematik Bisiklet Modeli)

Not: Araç koordinat sisteminin orijini Kinematik Bisiklet Modelinde **Arka Aks Merkezi** olarak kabul edilmiştir.

- Aks Mesafesi: $L = 2.5$ m
- İleri Hız: $v = 8.0$ m/s
- Referans Yörünge: $y_{\text{ref}}(x) = A \sin(Bx)$ (Kontrol için kullanılmayacaktır)

Aracın Anlık Durumu: $p_k =$, $\psi_k = \pi/4$ rad (45°), $L_d = 5.0$ m, $p_{\text{hedef}} = [5.0, 2.0]$

a. Araç Koordinatlarında Hedef Konum: (5 Puan)

Verilen hedef noktasının p_{hedef} araç koordinat sistemindeki (x_h, y_h) konumu nedir? İpucu: $\psi_k = \pi/4$ dönüşümünü kullanınız.

b. Gerekli Yönlendirme Açısı (δ): (5 Puan)

Pure Pursuit formülünü kullanarak aracı hedefe yönlendirmek için gerekli ön tekerlek yönlendirme açısını radyan cinsinden hesaplayınız.

c. Psödokod Analizi (Dönüşüm Mantığı): (5 Puan)

Aşağıdaki kod bloğundaki boşlukları Yaw_k açısını içeren formüllerle doldurunuz. Bu dönüşümün mantığını (öteleme ve döndürme) kısaca açıklayınız.

Listing 1: Küreselden araç çerçevesine dönüşüm

```
import math
def transform_to_vehicle_frame(X_k, Y_k, Yaw_k, X_target, Y_target):
    dX = X_target - X_k
    dY = Y_target - Y_k
    # Dnm (rotate by -Yaw_k)
    X_H = -----
    Y_H = -----
    return X_H, Y_H
```

d. 1 Saniye Sonraki Konum (p_{k+1}) ve Kontrol Karşılaştırması: (10 Puan)

- Euler İlerlemesi:** Q1.b'de hesapladığınız δ açısını kullanarak, Euler integrasyon yöntemiyle 1 saniye sonraki $(x_{k+1}, y_{k+1}, \psi_{k+1})$ durumunu hesaplayınız.
- MPC Karşılaştırması:** Pure Pursuit gibi **geometrik** kontrolcülere kıyasla, **Model Tahmine Dayalı Kontrol (MPC)** yaklaşımının otonom sürüşteki temel **avantajlarını** (kısıt optimizasyonu ve ileriye dönük tahmin bağlamında) kavramsal olarak açıklayınız.

Soru 2: Otonom Sürüş Mimarileri ve Derin Öğrenme

Amaç ve Kapsam

Otonom sürüşteki yaklaşımlar (Modular Pipeline, End-to-End Learning), Derin Öğrenme Mimarileri (CNN/FC) ve Taklit Öğrenme (BC/DAGger) üzerine derinlemesine inceleme.

a. Modüler ve Uçtan Uca Yaklaşımların Kapsamlı Karşılaştırması: (10 Puan)

Modüler Pipeline ve End-to-End Learning arasındaki temel mimari farkı açıklayınız. Ardından, hangi yaklaşımın HD Haritalara daha bağımlı olduğunu ve bu bağımlılığın **üretim/güncelleme maliyetlerini** belirtiniz.

Aşağıdaki tabloyu karşılaştırma kriterlerine göre doldurunuz:

Kriter	Modüler Pipeline	Uçtan Uca (End-to-End) Yaklaşım
Şeffaflık / Yorumlanabilirlik		
Hata Ayıklama & Hata Yayılımı		
Veri Gereksinimi		

b. Modüler Boru Hattının Akış Diyagramı ve Bileşenleri: (5 Puan)

Duyusal girdiyi kontrol eylemlerine dönüştüren Modüler Pipeline'daki dört ana bileşeni (*Perception, Localization, Planning, Control*) listeleyiniz, akışlarını ve her bir modülün çıktısının türünü özetleyiniz.

c. Evrişimli ve Tam Bağlantılı Katman Ağırlık Oranı: (5 Puan)

Verilen parametreler $W \times H = 30 \times 32$, $C_{in} = 1$, $C_{out} = 45$, kernel $K = 3 \times 3$. Bias terimlerini de hesaba katarak, bir evrişim katmanının toplam ağırlık sayısını (P_{CNN}) ve eşdeğer tam bağlantılı katmanın (P_{FC}) ağırlık sayısını hesaplayınız.

d. Davranış Klonlama ve IID Varsayımının İhlali: (5 Puan)

Behavior Cloning yöntemindeki IID (Bağımsız ve Özdeş Dağılımlı) varsayımının neden bozulduğunu ve bu durumun yol açtığı **Kovaryat Kayması** sorununu DAGger (Dataset Aggregation) algoritmasının **veri toplama ve etiketleme** mekanizmasıyla nasıl çözdüğünü açıklayınız.

Soru 3: Pekiştirmeli Öğrenme Algoritmaları (Q-Learning, DQN ve DDPG)

Amaç ve Kapsam

Q-Learning, Derin Q-Öğrenme (DQN) ve Politika Gradyan yaklaşımlarının teorik temelleri ve kararlılık mekanizmaları.

a. Q-Learning ve Off-Policy Öğrenme: (5 Puan)

$$Q_{i+1}(s_t, a_t) = Q_i(s_t, a_t) + \alpha[r_t + \gamma \max_{a'} Q_i(s_{t+1}, a') - Q_i(s_t, a_t)]$$

Bu güncelleme kuralının off-policy bir davranış politikası kullanılmasına rağmen Bellman Optimalite Denklemini temel alarak nasıl optimal Q^* 'a yaklaştığını açıklayınız.

b. DQN Motivasyonu ve Kayıp Fonksiyonu: (5 Puan)

$$\mathcal{L}(\theta) = \mathbb{E} \left[\left(r_t + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a'; \theta^-) - Q(s_t, a_t; \theta) \right)^2 \right]$$

DQN'in geliştirilme motivasyonunu özetleyiniz. Yukarıdaki kayıp fonksiyonunda **Hedef Değeri (Target Value)** ve **Tahmin Edilen Değeri (Predicted Value)** temsil eden terimleri eşleştiriniz ve rollerini açıklayınız.

c. DQN Kararlılaştırma Mekanizmaları: (10 Puan)

Derin Pekiştirmeli Öğrenmede kararsızlığı önleyen iki temel mekanizmayı (**Experience Replay** ve **Fixed Q Targets**) açıklayınız. Her bir mekanizmanın spesifik olarak çözdüğü kararsızlık sorununu (örneğin: Zamansal Korelasyon, Hedef Kayması) belirtiniz.

d. DDPG: Aktör-Eleştirmen Etkileşimi ve Politika Tipi: (5 Puan)

1. **Aktör-Eleştirmen Etkileşimi:** DDPG algoritmasında (Aktör μ , Eleştirmen Q) bu iki ağın rollerini ve Eleştirmen tarafından hesaplanan gradyanın Aktörün güncellenmesinde nasıl kullanıldığını açıklayınız.
2. **On-Policy vs. Off-Policy:** DDPG'nin Off-Policy (Politika Dışı) bir algoritma olması ne anlama gelir? On-Policy ve Off-Policy algoritmalar arasındaki temel farkı belirtiniz.

Soru 4: Temel Alt Sistemlerin İşlevleri ve Lokalizasyon

Amaç ve Kapsam

Algılama, planlama, kontrol alt sistemlerinin işlevleri ve Konumlandırma (Localization) teknolojileri ile Sensör Füzyon teknikleri.

a. Algılama (Perception) Modülünün Rolü ve Sensörler: (10 Puan)

Algılama modülünün otonom sürüşteki temel rolünü ve aşağıdaki sensörlerin her birinin sağladığı temel bilgileri (örneğin: geometrik veri, hız, semantik içerik) açıklayınız:

1. Kamera
2. LiDAR
3. Radar

b. Planlama ve Kontrol Alt Sistemlerinin Farkları: (5 Puan)

Planlama ve Kontrol alt sistemlerinin temel farklarını, ürettikleri **çıktı türlerini** (örneğin: yüksek seviyeli yörünge/düşük seviyeli komutlar) ve tipik **zaman ölçeklerini** (frekanslarını) karşılaştırınız.

c. Konumlandırma (Localization) Teknolojileri ve Füzyon: (10 Puan)

Aşağıdaki konumlandırma teknolojilerinin otonom sürüşteki rollerini açıklayınız. Ayrıca, **Sensör Füzyon (Kalman Filtresi/EKF)** mekanizmasının bu teknolojilerin sınırlılıklarını (örneğin GPS sinyal kaybı, IMU hatası birikimi) nasıl aştığını açıklayınız.

1. NAVSTAR GPS (GNSS)
2. IMU (Inertial Measurement Unit)
3. HD Haritalar (High-Definition Maps)