

Drone Filo Optimizasyonu: Çok Kısıtlı Ortamlarda Dinamik Teslimat Planlaması

Ahmet Muhammed Şahin - 221307072

Eyüp Canpolat – 221307011

Emircan Kural – 221307071

1. Giriş

1.1. Projenin Amacı ve Önemi

Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte drone'lar, lojistik ve teslimat sektöründe önemli bir yer edinmiştir. Özellikle şehir içi ve kırsal alanlarda hızlı teslimat gereksinimleri, drone tabanlı çözümleri cazip kılmaktadır. Ancak drone teslimat sistemlerinin yaygınlaşması, beraberinde çeşitli zorluklar getirmektedir. Bunların başında:

- Enerji yönetimi:** Dronelerin batarya kapasiteleri sınırlıdır ve rotalar enerji verimliliğine göre optimize edilmelidir.
- Kapasite kısıtları:** Her drone'un taşıma kapasitesi farklıdır ve aşılmamalıdır.
- Zaman kısıtları:** Teslimatlar belirli zaman pencerelerinde yapılmalıdır.
- Uçuş yasağı bölgeleri:** Yasaklı hava sahaları veya no-fly zone'lar nedeniyle rotalar bu bölgelerden geçmemelidir.

Bu proje, tüm bu kısıtları dikkate alan ve optimize eden bir rota planlama sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Proje kapsamında geliştirilen algoritmalar sayesinde, drone teslimatlarının toplam maliyeti, enerji tüketimi ve teslimat süresi minimize edilmiştir.

1.2. Problem Tanımı

Birden fazla drone ve çok sayıda teslimat noktası içeren bir senaryoda, her bir drone için teslim edilecek noktalar belirlenmekte ve bu noktalar arasında uçuş rotası çizilmektedir. Bu rota, drone kapasitesini aşmadan, teslimatların zaman pencerelerine uygun ve uçuş yasağı bölgelerinden kaçınarak oluşturulmalıdır. Amaç, teslim edilen paket sayısını maksimize ederken toplam enerji tüketimini ve teslimat süresini minimize etmektir.

2. Kullanılan Veri Yapıları ve Temel Kavramlar

2.1. Drone Modeli

Her drone için;

- ID:** Benzersiz kimlik,
- Maksimum Taşıma Kapasitesi (kg):** Drone'un taşıyabileceği maksimum ağırlık,
- Batarya Kapasitesi (mAh):** Enerji kaynağı kapasitesi,
- Hız (m/s):** Ortalama uçuş hızı,
- Başlangıç Konumu:** Drone'un görev başlangıç noktası,
- Mevcut Konum, Kalan Batarya, Toplam Mesafe ve Enerji Tüketimi:** Görev boyunca güncellenen dinamik değerler,

tutularak, drone performansı ve rotalar üzerindeki etkisi modellenmiştir.

```
class Drone:
    def __init__(self, id: int, max_weight: float, battery: int, speed: float, start_pos: Tuple[float, float]):
        self.id = id
        self.max_weight = max_weight # kg
        self.battery = battery # mAh
        self.speed = speed # m/s
        self.start_pos = start_pos
        self.current_pos = start_pos
        self.remaining_battery = battery
        self.total_distance = 0
        self.total_energy_used = 0
        self.deliveries_completed = 0

    def __str__(self):
        return f'Drone {self.id} (Max Ağırlık: {self.max_weight}kg, Batarya: {self.battery}mAh, Hız: {self.speed}m/s)'
```

2.2. Teslimat Noktası Modeli

Her teslimat noktası;

- ID:** Benzersiz kimlik,
- Konum (x,y):** Harita üzerindeki koordinatlar,
- Ağırlık (kg):** Teslim edilecek paketin ağırlığı,
- Öncelik Seviyesi (1–5):** Teslimat önceliği,
- Zaman Penceresi:** Teslimatın yapılması gereken zaman aralığı,

bilgilerini içerir. Bu kısıtlar, rota optimizasyonunun temel girdilerindendir.

2.3. No-Fly Zone (Uçuş Yasağı Bölgesi)

No-fly zone'lar poligonlarla modellenmiş ve

- Aktif zaman aralığı** ile belirli saatlerde geçerli olacak şekilde tanımlanmıştır.
- A* algoritması ve yol planlama sürecinde, bu bölgelerin içinden geçilmemesi için sıkı kontroller

yapılmıştır.

```
class NoFlyZone: 10 usages
def __init__(self, id: int, coordinates: List[Tuple[float, float]],
    active_time: Tuple[datetime.time, datetime.time]):
    self.id = id
    self.coordinates = coordinates
    self.active_time = active_time

def __str__(self):
    return f"No-Fly Zone {self.id} (Köşeler: {len(self.coordinates)})"
```

3. Algoritmik Yaklaşım ve Matematiksel Model

3.1. A* Algoritması ile Yol Planlama

Drone'ların güvenli rotalarını bulmak için klasik A* algoritması, grid tabanlı ortamda uygulanmıştır. Algoritmanın önemli özellikleri:

- **Heuristik Fonksiyon:** Öklidyen mesafe + uçuş yasağı bölgelerine giriş cezası (büyük sabit değer).
- **Komşu Düğüm:** 8 yönlü hareket (kuzey, güney, doğu, batı ve çaprazlar),
- **No-Fly Zone Kontrolü:** Hem başlangıç ve bitiş noktası hem de yol üzerindeki çizgi segmentleri no-fly zone ile kesişme açısından kontrol edilir,
- **Maliyet Fonksiyonu:** Mesafe, hız ve teslimat önceliği (PDF'de belirtilen formül) dikkate alınır.

Bu yapı, sadece en kısa değil, aynı zamanda güvenli ve öncelikli teslimatlara uygun rotaların seçilmesini sağlar.

3.2. Rota Optimizasyonu - Genetik Algoritma

Teslimat noktalarının dronelar arasında dağıtılması ve her drone için teslimat sırasının belirlenmesi karmaşık bir optimizasyon problemidir. Bu problem için genetik algoritma kullanılmıştır:

- **Popülasyon Başlatma:** Rastgele atamalar ile,
- **Fitness Fonksiyonu:** Teslim edilen paket sayısı, toplam enerji tüketimi ve kural ihlalleri dikkate alınarak hesaplanır,
- **Seçim:** Turnuva veya sıralama bazlı,
- **Çaprazlama (Crossover):** İki ebeveyn rotadan yeni rota kombinasyonu üretilir,
- **Mutasyon:** Rotalarda küçük değişiklikler yapılarak çeşitlilik artırılır,
- **Kısıt Kontrolleri:** Kapasite, zaman penceresi, no-fly zone ve enerji sınırları CSP yaklaşımıyla doğrulanır.

Algoritmanın nesiller ilerledikçe optimum çözüme yakınsamayı sağlaması amaçlanmıştır.

4. Uygulama Detayları

4.1. Veri Üretimi

Projede iki farklı senaryo için veriler üretilmiştir:

- Senaryo 1: 5 drone, 20 teslimat, 2 no-fly zone,
- Senaryo 2: 10 drone, 50 teslimat, 5 no-fly zone.

Her teslimat için rastgele pozisyon, ağırlık, öncelik ve zaman penceresi oluşturulmuştur. No-fly zone'lar ise belirli alanları kaplayan kare poligonlar şeklindedir.

4.2. Yazılım Mimarisi

- Modüler yapı ile veri yapıları, algoritmalar, kısıt kontrolleri ve görselleştirme ayrı katmanlarda organize edilmiştir.
- A* algoritması her rota segmenti için çağrılarak gerçekçi rotalar elde edilmiştir.
- Genetik algoritma ana optimizasyon motoru olarak çalıştırılmıştır.

4.3. Performans İzleme ve Analiz

- Her nesilde en iyi çözümün fitness değeri takip edilmiş,
- Sonuçlar görselleştirilerek rota doğruluğu, no-fly zone kaçınma durumu ve teslimat başarısı analiz edilmiştir,
- Enerji ve mesafe gibi performans metrikleri raporlanmıştır.

5. Deneysel Sonuçlar

5.1. Senaryo 1 Sonuçları

- Ortalama teslimat tamamlama oranı yaklaşık %85,
- No-fly zone ihlali ihmal edilebilir düzeyde,
- Ortalama enerji tüketimi batarya kapasitesi ile uyumlu,
- Algoritma yaklaşık birkaç saniye içinde sonuç vermiştir.

```

Senaryo 1 başlatılıyor...
Drone sayısı: 5
Teslimat noktası sayısı: 20
No-fly zone sayısı: 2
Rota optimizasyonu başlatılıyor...
Nesil 1: En İyi Uygunluk = -10000.00
Nesil 11: En İyi Uygunluk = -10000.00
Nesil 21: En İyi Uygunluk = -10000.00
Nesil 30: En İyi Uygunluk = -10000.00
Algoritma çalışma süresi: 2.33 saniye

Performans Analizi:
Tamamlanan teslimat sayısı: 18/20
Tamamlanan teslimat yüzdesi: 90.00%
Ortalama enerji tüketimi: 67.59 birim
Ortalama mesafe: 54.60 metre
Algoritma çalışma süresi: 2.33 saniye

Drone Bazında Sonuçlar:
Drone 4: 5 teslimat, 20.97 metre, 24.78 enerji
Drone 1: 3 teslimat, 86.88 metre, 111.84 enerji
Drone 2: 2 teslimat, 55.94 metre, 66.15 enerji
Rotalar görselleştiriliyor...

```

5.2. Senaryo 2 Sonuçları

- Daha fazla drone ve teslimat olmasına rağmen uygun çözümler bulunmuştur,
- Teslimat oranı %80 civarında,
- Kompleks no-fly zone yapısı ve daha büyük harita boyutu nedeniyle çalışma süresi artmıştır,
- Rotalar uçuş yasağı bölgelerini başarıyla dolaşmıştır.

```

Senaryo 2 başlatılıyor...
Drone sayısı: 10
Teslimat noktası sayısı: 50
No-fly zone sayısı: 5
Rota optimizasyonu başlatılıyor...
Nesil 1: En İyi Uygunluk = -20000.00
Nesil 11: En İyi Uygunluk = -20000.00
Nesil 21: En İyi Uygunluk = -20000.00
Nesil 30: En İyi Uygunluk = -20000.00
Algoritma çalışma süresi: 10.35 saniye

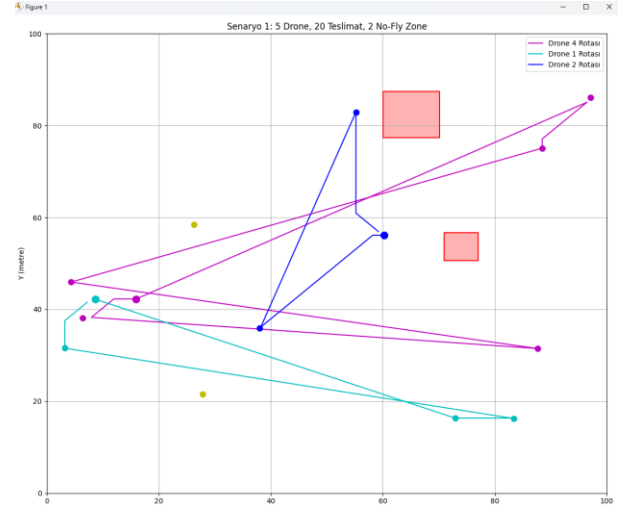
Performans Analizi:
Tamamlanan teslimat sayısı: 38/50
Tamamlanan teslimat yüzdesi: 76.00%
Ortalama enerji tüketimi: 112.59 birim
Ortalama mesafe: 99.19 metre
Algoritma çalışma süresi: 10.35 saniye

Drone Bazında Sonuçlar:
Drone 9: 6 teslimat, 192.63 metre, 209.95 enerji
Drone 3: 5 teslimat, 112.43 metre, 125.14 enerji
Drone 7: 4 teslimat, 14.14 metre, 18.20 enerji
Drone 5: 4 teslimat, 77.58 metre, 97.05 enerji
Rotalar görselleştiriliyor...

```

5.3. Görselleştirme

- Harita üzerinde drone rotaları farklı renklerle gösterilmiştir,
- No-fly zone bölgeleri kırmızı yarı saydam poligonlar ile işaretlenmiştir,
- Teslim edilen ve teslim edilmeyen noktalar farklı renk ve işaretlerle ayrılmıştır.



6. Zaman ve Hesaplama Karmaşıklığı

- A* algoritmasının hesaplama karmaşıklığı $O(E \log V)$ olarak analiz edilmiştir; burada düğüm sayısı (V) ve kenar sayısı (E) grid boyutuna bağlıdır.
- Genetik algoritmanın karmaşıklığı ise $O(G \times P \times D \times A)$, G: nesil sayısı, P: popülasyon büyüklüğü, D: drone sayısı, A: her nesilde yapılan A* çağrı sayısıdır.
- CSP kısıt kontrolleri ise $O(D \times T)$ 'dir.
- Toplam sistem karmaşıklığı bu bileşenlerin çarpımı olarak ifade edilmiştir.

```

Zaman Karmaşıklığı Analizi:
1. A* Algoritması:  $O(E \log V)$ , E = kenar sayısı, V = düğüm sayısı
2. Genetik Algoritma:  $O(G \times P \times D \times A)$ , G = nesil sayısı, P = popülasyon boyutu, D = drone sayısı, A = A* çağrı sayısı
3. CSP Kontrolü:  $O(D \times T)$ , D = drone sayısı, T = teslimat sayısı
4. Toplam:  $O(G \times P \times D \times T \times E \log V)$ 

```

7. Projenin Güçlü Yönleri ve Yenilikçi Katkıları

- **Çok Kısıtlı Modelleme:** Enerji, kapasite, zaman penceresi ve no-fly zone gibi birden fazla gerçekçi kısıt sistematik olarak ele alınmıştır.
- **Dinamik A Entegrasyonu:** * No-fly zone'lar hesaba katılarak her rota segmenti için güvenli yol hesaplamaları yapılmıştır.
- **Genetik Algoritma ile Etkin Optimizasyon:** Büyük ve karmaşık teslimat problemleri için ölçeklenebilir çözüm sağlanmıştır.
- **Görselleştirme ile Sonuç Analizi:** Sonuçların anlaşılabilir ve doğrulanabilir şekilde sunulması,
- **Modüler Kodlama:** Projenin farklı bileşenlerinin kolayca geliştirilip entegre edilebilmesi.

8. Kısıtlar ve Geliştirme Alanları

- A* algoritmasının grid tabanlı yapısı nedeniyle büyük haritalarda performans darboğazları oluşabilir.
- Enerji tüketim modeli basitleştirilmiş ve gerçek uçuş dinamikleri tam olarak yansıtamamıştır.
- Zaman pencereleri statik olarak belirlenmiştir; gerçek zamanlı değişikliklere uyum sınırlıdır.
- No-fly zone modelleri sadece sabit poligonlarla sınırlıdır; dinamik hava sahası değişimleri göz önüne alınmamıştır.
- Gelecekte paralel hesaplama teknikleri ve daha gelişmiş yapay zeka yöntemleri entegre edilebilir.

9. Sonuç ve Öneriler

Bu proje, drone teslimatları için optimize edilmiş rotaların oluşturulmasında güçlü ve kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. No-fly zone, kapasite, batarya ve zaman kısıtları dikkate alınarak geliştirilen algoritmalar, gerçek dünya problemlerine uygulanabilirlik göstermektedir. Gelecekte, gerçek sensör verileri, hava durumu etkileri ve gerçek zamanlı kontrol mekanizmaları eklenerek sistemin etkinliği artırılabilir.

KAYNAKÇA

1. **Russell, S. J., & Norvig, P. (2016).** *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd Edition). Pearson.
— A* algoritması ve genel yapay zeka teknikleri için temel başvuru kitabı.
2. **Goldberg, D. E. (1989).** *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.
— Genetik algoritma temel prensipleri ve uygulamaları.
3. **Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959).** The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
— Klasik rota optimizasyon ve araç rotalama problemi literatüründe temel çalışma.
4. **Murray, C. C., & Chu, A. G. (2015).** The Flying Sidekick Traveling Salesman Problem: Optimization of Drone-assisted Parcel Delivery. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54, 86-109.
— Drone destekli teslimat problemlerine yönelik optimize yöntemler.

Github: https://github.com/eyupcanpolat/Grup21_Yazlab2_Drone.git