

Drone Filo Optimizasyonu

Ahmet Salih Kocattürk
221307043
Görevler: Zaman Kısıtlamaları -
Görselleştirme

Emircan Demir
241307109
Görevler: Genetik Algoritma Tasarımı -
Görselleştirme

Anıl Ceko
221307047
Görevler: Veri yapıları - A*
Algoritması Tasarımı - Kısıtlamalar -
Görselleştirme

I. GİRİŞ

Son yıllarda insansız hava araçları (İHA), özellikle kargo ve teslimat alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başladı. Bu projede, belirli kısıtlar altında çalışan bir drone filosu için en verimli teslimat rotalarını bulmaya yönelik bir sistem geliştirildi. Enerji sınırları, teslimat öncelikleri, zaman aralıkları ve uçuşa yasak bölgeler gibi pek çok değişken göz önünde bulundurularak, gerçek zamanlı kararlar alabilen akıllı bir algoritma oluşturulması hedeflendi.

Projede her biri farklı hız, batarya ve taşıma kapasitesine sahip drone'lar yer almakta. Bu drone'lar, rastgele konumlandırılmış teslimat noktalarına yönlendirilirken, her paketin önceliği ve teslim edilmesi gereken zaman aralığı da dikkate alındı. Ayrıca rotalar belirlenirken, drone'ların aktif olduğu saatlerde devreye giren uçuşa yasak bölgeler de hesaba katıldı. Böylece sadece düz mantıkla çalışan değil, aynı zamanda ortam koşullarına uyum sağlayabilen bir sistem elde edildi.

II. PROBLEM TANIMI

Bu projede çözmeye çalıştığımız temel problem, birden fazla drone'un birden fazla paketi en verimli şekilde teslim etmesini sağlamak. Ancak iş sadece paket taşımaktan ibaret değil; çünkü her drone'un belli bir batarya kapasitesi, taşıyabileceği maksimum ağırlık ve hareket hızı var. Aynı zamanda bazı bölgeler belirli saatlerde uçuşa yasak oluyor ve teslimatların da belirli zaman aralıklarında yapılması gerekiyor.

Lojistik sektöründeki firmalar, farklı önceliklere ve ağırlıklara sahip bu paketleri hızlı ve doğru bir şekilde ulaştırmak istiyor. Ancak bu kadar çok kısıt varken hangi drone'un hangi paketi ne zaman taşıması gerektiğini bulmak oldukça karmaşık bir hale geliyor. Biz de bu karmaşayı çözecek, hem kurallara uyan hem de enerji açısından tasarruflu bir sistem geliştirmek istedik.

Bu yüzden sistemimiz, tüm bu şartları aynı anda değerlendirerek her bir drone için uygun teslimat planını otomatik olarak oluşturuyor. Böylece hem zamandan hem de enerjiden kazanılıyor, ayrıca hiçbir teslimat zamanını kaçırmıyor.

III. SİSTEM MIMARISI

Bu projede, farklı dosyalara ayrılmış modüler bir yapı kullandık. Her dosya belirli bir işlevi yerine getiriyor ve hepsi birlikte çalışarak teslimat sürecini yöneten dinamik bir sistem oluşturuyor. Aşağıda her parçayı kısaca açıklıyoruz:

A. Veri Üretimi

Proje sabit veriler yerine dinamik olarak üretilen drone, teslimat ve uçuşa yasak bölge verileriyle çalışmaktadır.

Drone'lar sistem tarafından rastgele ancak belirli kurallara uygun şekilde oluşturulur; her bir drone'un batarya kapasitesi, taşıyabileceği maksimum ağırlık ve uçuş hızı farklıdır.

Teslimat noktaları da benzer şekilde rastgele konumlandırılır ve her biri kendine özgü ağırlık, teslimat önceliği ve zaman penceresi değerlerine sahiptir.

Belirli zaman aralıklarında aktif olan uçuşa yasak bölgeler tanımlanarak bu bölgelerin dinamik etkileri sistemde dikkate alınır. Tüm bu veriler sistemin ana çalışma yapısına uygun formatta dışa aktarılır ve algoritmalar tarafından doğrudan kullanılır.

Veri üretimi aşamasında ilk üretilen bileşen yasaklı bölgelerdir. Yasaklı bölgelerin ilk üretimi yapıldıktan sonra sırasıyla drone ve teslimat noktaları üretilir. Bunun yapılmasının sebebi, teslimat noktalarının ve drone başlangıç noktalarının en başından yasaklı bölgeler içerisinde üretilmesini engellemektir. Yasaklı bölge oluşumundan sonra drone ve teslimatın her bir üretimi için yasaklı bölgeye temas kontrolü yapılır. Eğer temas ediyorsa yeni konum yasaklı bölgelerin dışında olana kadar üretim döngüsü devam eder. Tüm bu denetim ışığında kontrollü bir dinamik veri üretimi sistemi tasarlanmıştır.

B. Dinamik Graf Yapısı

Sistem içerisinde teslimat noktaları ve drone başlangıç konumları arasında oluşabilecek tüm olası yollar bir graf yapısı ile modellenmiştir. Bu grafa her bir düğüm bir teslimat noktası ya da drone'un bulunduğu pozisyonu temsil ederken, iki düğüm arasındaki her bağlantı bir kenar olarak kabul edilir. Kenarlar üzerinden geçen rotaların maliyetleri hesaplanırken yalnızca mesafe değil, taşıma ağırlığı ve geçilecek güzergah üzerindeki olası yasak bölgelerin etkisi de dikkate alınır. Eğer bir rota aktif bir uçuşa yasak bölgeyle kesişiyorsa o yola ceza maliyeti eklenir. Böylece grafik yapısı, hem fiziksel mesafeyi hem de kısıt koşullarını dikkate alan dinamik bir yapıya bürünür.

Edgelerde, her bir teslimat ve o teslimatı yapmak üzere planlanan her drone için devamlı bir maliyet hesabı yapılmaktadır. Örneğin drone 1, teslimat 5'e bir paket götürecekse drone'dan tüm teslimat noktalarına ve tüm teslimat noktaları da birbiri ile bağlı olacak şekilde diğer tüm teslimat noktalarına (kendisi hariç) bağlanır. Ve tüm kenarlar içerisinde bir maliyet hesabı yapılır. Bu dinamik maliyet hesabının yapılma sebebi, maliyet hesaplama denkleminde mesafe ne no-fly-zone (yasaklı bölge) ceza maliyetinin sürekli değişken bir yapıda olmasındandır. Bundan ötürü her edge için yapılan maliyet hesabında ilgili teslimatın ağırlığı ve öncelik değeri sabit alınır, mesafe ve temas ediliyorsa yasaklı bölgenin ceza maliyeti dinamik olarak değişir.

Örneğin ceza, eğer yasaklı bölgeye bir kenar temas etmiyorsa o kenara ceza maliyeti eklenmez. Ya da bir kenarın gitmekte olduğu node, hedef node'a ne kadar uzaksa o mesafe, maliyet hesabına aktarılır.

- Eğer tüm kontrollerden drone geçiyorsa aday olarak listeye alınır. Tüm mevcut drone'lar için ataması yapılacak teslimat adına bu yapılır.
- En son tüm aday drone'ların maliyet hesabı yapılır ve bu drone'lar içerisinde en az maliyetli bir şekilde teslimatı yapabilen drone, o teslimatı üstlenir. O drone için ilgili teslimata A* algoritmasının belirlediği rota çizilir, atanması

yapılan teslimat diğer tamamlanmamış teslimatlar listesinden çıkarılır (yoksa aynı teslimat tekrar atanmaya çalışılır) ve son olarak drone'un harcadığı batarya, mevcut kapasitesinden düşürülür.

```
----- TESLİMAT 13 İÇİN UYGUN DRONE ATAMASI -----
Drone 0:
Kabul adayı: Maliyet = 973.12, Enerji = 2481.4 mAh
Drone 1:
Kabul adayı: Maliyet = 939.6, Enerji = 2000.87 mAh
Drone 2:
Kabul adayı: Maliyet = 1898.12, Enerji = 1406.4 mAh
Drone 3:
Kabul adayı: Maliyet = 1942.42, Enerji = 2041.34 mAh
Drone 4:
Kabul adayı: Maliyet = 872.66, Enerji = 1041.49 mAh
Teslimat 13, Drone 4 tarafından üstlenildi.
Rota: D4 → T17 → T13 → End
Drone 4 için kalan batarya: 18262.81 mAh
```

Bu şekilde dinamik ve doğru kontrol mekanizmaları ile sistemli bir yapı geliştirilmiştir.

A* Özet:

```
----- GÖREV ÖZETİ (A*) -----
Drone 0 → 7 teslimat
Drone 1 → 2 teslimat
Drone 2 → 1 teslimat
Drone 3 → 1 teslimat
Drone 4 → 9 teslimat

Toplam teslimat sayısı : 20
Tamamlanan teslimat sayısı : 20
Tamamlanma oranı (%) : 100.0%
Toplam enerji tüketimi : 12797.74 mAh
Ortalama enerji tüketimi : 639.89 mAh
```

E. Genetik Algoritma ile Optimizasyon

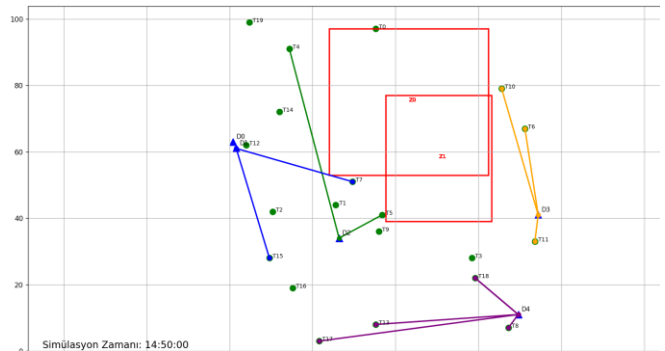
Bu çalışma, çoklu insansız hava aracı (İHA) ile teslimat rotalarının optimizasyonu için bir genetik algoritma (GA) sunmaktadır. Algoritma, enerji tüketimini ve operasyonel kısıt ihlallerini en aza indirirken, tamamlanan teslimat sayısını en üst düzeye çıkarmayı hedefler.

Genetik Algoritma Yapısı

1. Birey Temsili Bir birey (kromozom), filodaki her bir İHA için bir düğüm (teslimat noktası veya İHA üssü) dizisi olarak tanımlanan tam bir rota planını temsil eder. Her İHA'nın rotası, başlangıç üssünden başlayıp, bir veya daha fazla teslimat noktasını ziyaret edip üsse geri dönmesini içerebilir.
2. Başlangıç Popülasyonu Başlangıç popülasyonu, teslimatların İHA'lara atanmasıyla oluşturulur. Bu süreçte, öncelikli teslimatlar bir min-heap yapısı kullanılarak önceliklendirilir. Her teslimat için, en uygun İHA, mesafe, paket ağırlığı ve teslimat önceliğini dikkate alan bir maliyet fonksiyonu ($Maliyet = Mesafe \times Ağırlık + Öncelik \times 100$) ile belirlenir. Atama sırasında İHA'nın ağırlık kapasitesi, geçici rota uzunluğu ve kısıt geçerliliği (is_valid_route ile) kontrol edilir. Atama sonrası,

her teslimatın yalnızca bir kez atandığından emin olmak için bir düzeltme mekanizması (fix_duplicate_deliveries) çalıştırılır.

3. Uygunluk Değerlendirmesi Bir bireyin uygunluk değeri, çözümün kalitesini ölçer. Fonksiyon, tamamlanan teslimat sayısını ödüllendirirken, toplam enerji tüketimini ve kısıt ihlallerini cezalandırır. Ek olarak, öncelikli teslimatların tamamlanması için bir bonus verilir. Uygunluk fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:
$$Fitness = teslimat\ sayisi \times 50 - (toplamlar\ enerji \times 0.1) - (ihlal\ edilen\ kısıt \times 1000)$$
4. Seçilim: Ebeveyn seçimi için turnuva seçimi yöntemi kullanılır. Popülasyondan rastgele küçük bir birey alt kümesi (turnuva) seçilir ve bu alt kümedeki en yüksek uygunluk değerine sahip birey ebeveyn olarak belirlenir.
5. Genetik Operatörler Çaprazlama (Crossover): İki ebeveyn bireyden iki çocuk birey üretilir. Her bir İHA için, çocuğun rotası %50 olasılıkla ebeveynlerden birinden miras alınır (İHA rotası seviyesinde üniform çaprazlama). Çaprazlama işlemi, crossover_rate (0.8) olasılığı ile uygulanır. Çaprazlama sonrası, teslimatların mükerrer atanmasını engellemek için fix_duplicate_deliveries düzeltme mekanizması tekrar uygulanır. Mutasyon (Mutation): Popülasyondaki çeşitliliği artırmak için mutation_rate (0.1) olasılığı ile uygulanır. Mutasyon gerçekleşirse, rastgele seçilen bir İHA'nın rotasındaki rastgele bir teslimat noktası, İHA'nın kısıtlarına uygun, henüz atanmamış başka bir teslimat noktası ile değiştirilir.
6. Elitizm Her nesilde, popülasyonun en iyi bireylerinin belirli bir oranı (elitism_rate = 0.1) doğrudan bir sonraki nesle aktarılır. Bu, şimdiye kadar bulunan en iyi çözümlerin korunmasını sağlar.
7. Sonlandırma Genetik algoritma, önceden belirlenmiş bir nesil sayısı (generations = 100) boyunca çalışır. Süreç sonunda, en yüksek uygunluk değerine sahip birey, optimize edilmiş rota planı olarak kabul edilir.



```

----- GENETİK ALGORİTMA ÇÖZÜMÜ -----

Drone 0 Rotası:
D0 → T3 → D0 → T6 → D0
Toplam teslimat: 2
Teslim edilen paketler: [3, 6]
Harcanan enerji: 1554.07 mAh
Kalan batarya: 3978.93 mAh (71.9%)

Drone 1 Rotası:
D1 → T4 → D1 → T11 → D1 → T16 → D1 → T0 → D1 → T18 → D1
Toplam teslimat: 5
Teslim edilen paketler: [4, 11, 16, 0, 18]
Harcanan enerji: 3813.82 mAh
Kalan batarya: 2406.18 mAh (38.7%)

Drone 2 Rotası:
D2 → T17 → D2 → T15 → D2 → T10 → D2 → T17 → D2 → T19 → D2
Toplam teslimat: 4
Teslim edilen paketler: [17, 15, 10, 19]
Harcanan enerji: 3588.48 mAh
Kalan batarya: 4353.52 mAh (54.8%)

Drone 3 Rotası:
D3 → T13 → D3 → T5 → D3 → T6 → D3
Toplam teslimat: 2
Teslim edilen paketler: [13, 5]
Harcanan enerji: 2760.85 mAh
Kalan batarya: 5127.15 mAh (65.0%)

Drone 4 Rotası:
D4 → T13 → D4 → T5 → D4 → T2 → D4 → T7 → D4 → T9 → D4
Toplam teslimat: 3
Teslim edilen paketler: [2, 7, 9]
Harcanan enerji: 4416.30 mAh
Kalan batarya: 5011.70 mAh (53.2%)

Sistem Özeti:
Toplam teslim edilen paket: 16
Toplam paket sayısı: 20
Teslim oranı: 80.0%
Tamamlanan acil teslimat: 8/8

```

F. Zamanlama

Sistem, tüm teslimatları öncelik sırasına göre değerlendirir ve her biri için en uygun drone'u belirler. Drone'un daha önce aldığı görevlerle zaman çakışması olup olmadığı, kalan bataryasının yeterli olup olmadığı ve yük taşıma kapasitesinin uygunluğu kontrol edilir. Teslimat zaman penceresine uyumlu bir şekilde başarılı bir atama yapılabildiğinde, drone'a bu görev atanır ve bataryası güncellenir. Bu süreç, sistemdeki tüm teslimatlar atanıncaya kadar devam eder. Böylece her teslimat, uygun koşullar sağlandığı sürece gerçek zamanlı olarak planlanmış olur.

G. Performans Analizi

2 farklı senaryo üzerinden performans analizi yapılmıştır. İlk senaryoda 5 drone, 10 teslimat noktası ve 2 no-fly-zone tanımlanmıştır. Çıkan sonuçlar şu şekildedir:

A*:

Toplam teslimat sayısı: 20
 Tamamlanan teslimat sayısı: 20
 Tamamlanma oranı (%): 100.0%
 Toplam enerji tüketimi: 14300.93 mAh
 Ortalama enerji tüketimi: 715.05 mAh
 Çalışma Süresi: 3.48 saniye

GA:

Toplam teslimat sayısı: 20
 Tamamlanan teslimat sayısı: 19
 Tamamlanma oranı (%): 95.0%
 Toplam enerji tüketimi: 11618.78 mAh
 Ortalama enerji tüketimi: 611.51 mAh
 Çalışma Süresi: 9.40 saniye

İkinci senaryoda 10 drone, 50 teslimat noktası ve 5 no-fly-zone tanımlanmıştır. Çıkan sonuçlar şu şekildedir:

A*:

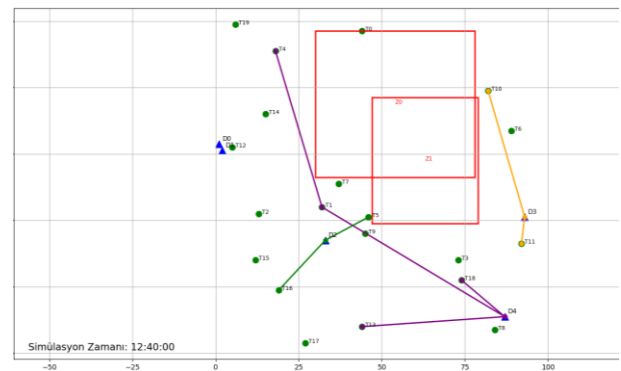
Toplam teslimat sayısı: 50
 Tamamlanan teslimat sayısı: 50
 Tamamlanma oranı (%): 100.0%
 Toplam enerji tüketimi: 19840.72 mAh
 Ortalama enerji tüketimi: 396.81 mAh
 Çalışma Süresi : 118.29 saniye

GA:

Toplam teslimat sayısı: 50
 Tamamlanan teslimat sayısı: 49
 Tamamlanma oranı (%): 98.0%
 Toplam enerji tüketimi: 26249.40 mAh
 Ortalama enerji tüketimi: 535.70 mAh
 Çalışma Süresi: 48.67 saniye

H. Sonuçların Görselleştirilmesi

Teslimatların ve rotaların doğruluğunu görsel olarak incelemek için sistemde bir görselleştirme bileşeni yer alır. Burada drone'ların başlangıç noktaları, teslimat konumları ve uçuşa yasak bölgeler grafiksel olarak gösterilir. Ayrıca her bir drone'un izlediği rotalar farklı renklerle çizilerek harita üzerinde net bir biçimde sunulur. Bu sayede algoritmaların kararları sadece matematiksel olarak değil, görsel açıdan da takip edilebilir hale gelir. Sistem, testlerin ardından çıkan rotaları grafiksel olarak göstererek hem analizi kolaylaştırır hem de sonuçların yorumlanabilirliğini artırır.



REFERANSLAR

- [1] [\(1\) Graph Theory With Python - YouTube](#)
- [2] [heapq — Heap queue algorithm — Python 3.13.3 documentation](#)
- [3] https://matplotlib.org/stable/api/animation_api.html
- [4] <https://shapely.readthedocs.io>
- [5] [A* Pathfinding Visualization Tutorial - Python A* Path Finding Tutorial](#)

- [6] [PyGAD - Python Genetic Algorithm! — PyGAD 3.4.0 documentation](#)