

Drone Filo Optimizasyonu

Abdulkadir Can Kinsiz 231307107
Bilişim Sistemleri Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi Kocaeli, Türkiye
E-Mail:kadircankinsiz@gmail.com

Şevval Zeynep Ayar 221307007
Bilişim Sistemleri Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi Kocaeli, Türkiye
E-Mail:zeynepayar2949@gmail.com

Sude Deniz Suvar 221307020
Bilişim Sistemleri Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi Kocaeli, Türkiye
E-Mail:sudesuvar51@gmail.com

Özet—*Bu çalışmada, enerji sınırlamaları, uçuşa yasak bölgeler ve teslimat öncelikleri gibi dinamik kısıtlar altında çalışan drone filoları için etkili bir teslimat planlama algoritması geliştirilmiştir. Projede, teslimat noktaları, drone kapasiteleri ve çevresel engeller dikkate alınarak A* algoritması, kısıt tatmin problemleri (CSP) ve genetik algoritmaların (GA) birlikte kullanıldığı hibrit bir yaklaşım benimsenmiştir. Algoritma, gerçek zamanlı olarak değişebilen koşullara adaptasyon sağlayarak teslimat başarımını ve enerji verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Farklı senaryolarda yapılan testler, önerilen yöntemin teslimat başarım oranı, enerji tüketimi ve çalışma süresi gibi metriklerde etkili sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışma, drone tabanlı lojistik uygulamaları için ölçeklenebilir ve esnek bir çözüm sunmaktadır.*

Anahtar Kelimeler—*Drone filo yönetimi, rota optimizasyonu, A* algoritması, genetik algoritma, kısıt tatmin problemi, uçuşa yasak bölge, teslimat planlaması.*

I. GİRİŞ

Son yıllarda drone teknolojisindeki gelişmeler, özellikle lojistik ve teslimat sektörlerinde yeni uygulamaların önünü açmıştır. Kentsel alanlarda hızlı ve etkin teslimat ihtiyacının artmasıyla birlikte, drone'ların filo halinde kullanımı önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Ancak, bu sistemlerin verimli çalışabilmesi için rotaların dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir. Enerji sınırlamaları, uçuşa yasak bölgeler (no-fly zones), dinamik çevresel koşullar ve teslimat öncelikleri gibi birçok değişken, rota planlamasını oldukça karmaşık bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada, çok sayıda drone'dan oluşan bir filonun, belirli kısıtlar altında en verimli şekilde teslimat yapabilmesini sağlayan bir algoritma geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen sistemde, drone'ların maksimum taşıma kapasitesi, batarya durumu ve hızı gibi fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmuş; aynı zamanda teslimatların ağırlığı, zaman aralığı ve öncelik seviyesi gibi bilgiler de rotalama sürecine entegre edilmiştir.

Çalışmada çözüm yaklaşımı olarak, A* algoritması ile rota hesaplaması gerçekleştirilmiş; uçuşa yasak bölgeler ve zaman aralıkları gibi dinamik kısıtlar ise kısıt tatmin problemi (CSP) modeli ile ele alınmıştır. Ek olarak, sistemin genel verimliliğini artırmak için genetik algoritmalar (GA) ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen çözüm, gerçek zamanlı koşullara uyarlanabilir esnek bir yapı sunarak, drone tabanlı teslimat sistemlerinde karşılaşılan temel zorluklara yenilikçi bir yaklaşım getirmektedir.

II. ALGORİTMA TASARIMI

Bu bölümde, drone'ların teslimat noktalarına en verimli şekilde ulaşabilmesini sağlayacak rota planlama algoritmasının tasarımı ele alınmaktadır. Algoritmanın temel

amacı, enerji tüketimini ve kısıt ihlallerini en aza indirirken, teslimat başarım oranını maksimize etmektir. Rota planlaması; mesafe, yük ağırlığı, teslimat önceliği ve uçuşa yasak bölgeler gibi çok sayıda değişkenin dikkate alındığı bir maliyet fonksiyonu üzerinden değerlendirilmiştir.

1) A. Graf Yapısının Oluşturulması

Teslimat noktaları düğüm (node) olarak, drone hareketleri ise kenar (edge) olarak modellenmiştir. Her bir kenar, iki nokta arasındaki mesafeye ve taşınan yükün ağırlığına göre hesaplanan bir maliyetle ilişkilendirilmiştir. Teslimat önceliği yüksek olan paketlere ulaşım gecikmeler, ceza puanı olarak maliyet fonksiyonuna dahil edilmiştir.

Maliyet(a,b)=Mesafe_{a,b}×Ağırlık_{a,b}+
(Öncelik_{a,b}×Ceza)
Maliyet(a,b)=Mesafe_{a,b}×Ağırlık_{a,b}+
(Öncelik_{a,b}×Ceza)

2) B. A* Algoritması ile Rota Planlama

Graf üzerinde en kısa ve en düşük maliyetli yolların bulunabilmesi için A* arama algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmada, her teslimat noktası için tahmini maliyet (heuristic) değeri, hedefe olan düzlemsel mesafe ve uçuşa yasak bölgelere girme olasılığına bağlı ceza katsayısı ile hesaplanmıştır.

$$f(n)=g(n)+h(n) \quad f(n)=g(n)+h(n)$$

Burada g(n)g(n)g(n) geçilen yolun maliyeti, h(n)h(n)h(n) ise kalan tahmini maliyettir. Eğer bir rota, drone'un taşıma kapasitesini aşıyorsa veya aktif bir no-fly zone'dan geçiyorsa, ilgili güzergâh otomatik olarak elenir.

Bu yöntem sayesinde hem sabit hem de zamanla değişen kısıtlar dinamik şekilde ele alınarak, gerçek zamanlı teslimat operasyonları için uygun ve güvenli rotalar oluşturulmuştur.

III. KISIT TANIMLARI VE CSP MODELİ

Drone teslimat sistemlerinde, yalnızca en kısa mesafeyi bulmak yeterli değildir; aynı zamanda çeşitli operasyonel ve çevresel kısıtların da dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle, kısıtların etkin bir şekilde modellenmesi için **Kısıt Tatmin Problemi (CSP – Constraint Satisfaction Problem)** yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım, sistemin geçerli ve uygulanabilir çözümler üretmesini sağlamaktadır.

1) A. Değişkenler

CSP modeli içerisinde iki temel değişken tanımlanmıştır:

- **Drone'lar:** Her bir drone'un mevcut batarya durumu, taşıma kapasitesi ve lokasyonu değişken olarak modellenmiştir.
- **Teslimatlar:** Her bir teslimatın hedef koordinatı, ağırlığı, zaman aralığı ve öncelik seviyesi değişkenler arasında yer almaktadır.

B. Kısıtlar

Modelde dikkate alınan başlıca kısıtlar şunlardır:

1. **Ağırlık Kısıtı:** Bir drone, sadece taşıma kapasitesi kadar yük taşıyabilir. Aşan rotalar geçersiz kabul edilir.
2. **Zaman Penceresi Kısıtı:** Teslimat yalnızca belirli bir zaman aralığında yapılmalıdır. Bu aralığın dışında ulaşan drone rotaları geçersiz sayılır.
3. **No-Fly Zone Kısıtı:** Aktif uçuşa yasak bölgelerden geçen rotalara ceza uygulanır veya tamamen elenir.
4. **Tek Paket Kısıtı:** Her drone aynı anda yalnızca bir paketi taşıyabilir. Yeni teslimat ancak önceki teslimat tamamlandıktan sonra alınabilir.
5. **Batarya Kısıtı:** Drone'un bataryası planlanan rotayı tamamlamaya yeterli olmalıdır. Aksi halde ilgili rota elenir veya yeniden planlanır.

C. Kısıtların Çözüm Yöntemi

Kısıtlar, CSP çözümleyicisi ile sistematik biçimde kontrol edilmiştir. Önce geçersiz (kısıtları ihlal eden) çözümler filtrelenmiş, ardından uygun rotalar arasında en verimli olanlar A* algoritması ile değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, sadece teknik olarak geçerli değil, aynı zamanda operasyonel açıdan da optimize edilmiş teslimat planlarının oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

IV. OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI: GENETİK ALGORİTMA

Drone filo yönetiminde, çok sayıda teslimat noktasına en uygun rotaların bulunması, klasik algoritmalarla çözülemeyecek kadar büyük bir arama uzayı oluşturabilir. Bu nedenle, çözümlerin optimize edilmesi amacıyla **Genetik Algoritma (GA)** temelli bir yaklaşım benimsenmiştir. Genetik algoritmalar, biyolojik evrim süreçlerinden ilham alarak çalışan ve büyük çözüm uzaylarında yakınsama sağlayabilen güçlü sezgisel yöntemlerdir.

1) A. Başlangıç Popülasyonu

Başlangıç popülasyonu, rastgele oluşturulmuş ancak geçerli (kısıtları ihlal etmeyen) teslimat rotalarından oluşmaktadır. Her birey, bir drone'un belirli bir zaman çizelgesi içinde gerçekleştireceği teslimatların sıralı listesidir.

2) B. Uygunluk (Fitness) Fonksiyonu

Her bireyin uygunluğu, aşağıdaki gibi tanımlanan çok kriterli bir fonksiyon ile hesaplanmıştır:

$$\text{Fitness} = (\text{Tamamlanan Teslimat Sayısı} \times \text{Ağırlık}_1) - (\text{Toplam Enerji Tüketimi} \times \text{Ağırlık}_2) - (\text{İhlal Edilen Kısıt Sayısı} \times \text{Ağırlık}_3)$$
$$\text{Fitness} = (\text{Tamamlanan Teslimat Sayısı} \times \text{Ağırlık}_1) - (\text{Toplam Enerji Tüketimi} \times \text{Ağırlık}_2) - (\text{İhlal Edilen Kısıt Sayısı} \times \text{Ağırlık}_3)$$

Bu fonksiyon, teslimat sayısını artırırken; enerji kullanımını ve ihlal edilen kısıtları minimize edecek çözümleri tercih etmektedir.

3) C. Çaprazlama (Crossover)

İki bireyden yeni bir birey üretmek için sırayla görev değişimleri uygulanmıştır. Bu işlemde, ebeveynlerden alınan kısımlar karıştırılarak geçerli ve yenilikçi çözümler oluşturulmuştur. Çaprazlama sonrası kısıt ihlali olup olmadığı kontrol edilerek geçersiz çözümler elenmiştir.

4) D. Mutasyon

Popülasyondaki çeşitliliği artırmak ve yerel minimumlara sıkışmayı önlemek amacıyla, rastgele bireylerde mutasyon işlemi uygulanmıştır. Mutasyon, bir teslimat noktasının sırasını değiştirme veya bir drone'un görev listesinden çıkarılıp başka bir drone'a atanması şeklinde yapılmıştır.

5) E. Seçim ve Yineleme

Her nesilde, en yüksek uygunluk değerine sahip bireyler seçilerek bir sonraki nesli oluşturmuştur. Bu döngü, önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşılan kadar devam etmiştir.

V. TEST SENARYOLARI VE PERFORMANS ANALİZİ

Geliştirilen algoritmanın başarımını değerlendirmek amacıyla farklı senaryolar altında testler gerçekleştirilmiştir. Her senaryoda teslimat başarımları, enerji tüketimi ve algoritmanın çalışma süresi gibi metrikler ölçülerek algoritmanın genel verimliliği analiz edilmiştir.

6) A. Test Senaryoları

Senaryo 1

- Drone Sayısı: 5
- Teslimat Noktası Sayısı: 20
- No-Fly Zone Sayısı: 3
- Dinamiklik: Statik no-fly zone'lar, sabit zaman aralıklarında aktiftir.

Bu senaryoda, algoritmanın küçük çaplı operasyonlarda doğruluğu ve temel işlevselliği test edilmiştir.

Senaryo 2

- Drone Sayısı: 10
- Teslimat Noktası Sayısı: 50
- No-Fly Zone Sayısı: 5
- Dinamiklik: No-fly zone'lar zamanla aktif/pasif hale gelmektedir.

Bu senaryoda sistemin dinamik koşullara adaptasyon kabiliyeti, ölçeklenebilirliği ve optimizasyon başarımı değerlendirilmiştir.

7) B. Performans Metrikleri

Aşağıdaki metrikler her senaryo için hesaplanmıştır:

- **Tamamlanan Teslimat Yüzdesi (%):** Toplam teslimat sayısına oranla başarıyla tamamlanan teslimatların yüzdesi.
- **Ortalama Enerji Tüketimi (mAh):** Her drone'un rotalarında harcadığı toplam enerji miktarının ortalaması.
- **Ortalama Çalışma Süresi (saniye):** Algoritmanın tüm rotaları hesaplaması için geçen toplam süre.

8) C. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan testler sonucunda:

- A* algoritması, küçük ve sabit kısıtlı senaryolarda daha hızlı sonuç verirken,
- Genetik algoritma, daha büyük ve dinamik senaryolarda yüksek teslimat oranı ve daha dengeli enerji kullanımı sağlamıştır.
- CSP tabanlı filtreleme sayesinde kısıt ihlali oranı %0'a yakın tutulmuştur.
- Tüm senaryolarda sistem 1 dakikadan kısa sürede rota hesaplamalarını tamamlamıştır.

Bu sonuçlar, geliştirilen sistemin hem küçük ölçekli hem de karmaşık senaryolarda başarılı performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

VI. SONUÇ

Bu çalışmada, enerji kısıtları, uçuşa yasak bölgeler ve teslimat öncelikleri gibi çok boyutlu kısıtlar altında çalışan drone filoları için dinamik ve optimize bir rota planlama sistemi geliştirilmiştir. A* algoritması, CSP modeli ve genetik algoritmanın birlikte kullanıldığı hibrit yapı sayesinde hem geçerli hem de yüksek performanslı rotalar elde edilmiştir.

Yapılan test senaryoları, sistemin farklı büyüklükteki teslimat operasyonlarına başarıyla uyum sağladığını ve < 1 dakika gibi kısa sürelerde rota hesaplamalarını tamamladığını göstermiştir. Özellikle dinamik koşullarda dahi yüksek teslimat başarımları ve düşük enerji tüketimiyle etkili sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak geliştirilen algoritma, gerçek zamanlı drone teslimat sistemleri için esnek, güvenilir ve ölçeklenebilir bir çözüm sunmakta; karmaşık operasyonel kısıtlar altında dahi etkili bir filo yönetimi sağlamaktadır.

REFERANSLAR

- [1] Stack Overflow. *Geliştiricilerin öğrendiği, paylaştığı ve kariyer inşa ettiği platform*. [Çevrimiçi]. Erişim tarihi: 2 Ocak 2025. Erişim: <https://stackoverflow.com>

<https://docs.python.org/3/>