

2209-B
SANAYİYE YÖNELİK LİSANS ARAŞTIRMA PROJELERİ
DESTEKLEME PROGRAMI

SONUÇ RAPORU

PROJE BAŞLIĞI: İnsansız Helikopter Sürüleri için Dağıtık Karar Verme Tabanlı Algoritma/Lojik Geliştirilmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI: Enes AKGÜL

AKADEMİK DANIŞMANININ ADI: Doç. Dr. Serkan KURT

SANAYİ DANIŞMANININ ADI: Mutullah EŞER

GENEL BİLGİLER

PROJENİN KONUSU	İnsansız Helikopter Sürüleri İçin Dağıtık Karar Verme Tabanlı Algoritma/Lojik Geliştirilmesi
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI	Enes AKGÜL
DANIŞMANIN ADI	Doç. Dr. Serkan KURT
PROJE BAŞLANGIÇ VE BİTİŞ TARİHLERİ	01.11.2022 – 04.02.2024

1. Giriş

Bu projede, insansız sürü helikopter/hava araçları için dağıtık karar verme tabanlı algoritma önerilmiştir. Bu kapsamda birden fazla görevin birden fazla ajana dağıtılması önemli problemlerden biridir. Önerilen algoritmanın en önemli hedefi çoklu ajan-görev atamalarında minimum maliyettir. Aynı zamanda bu atamalar yapılırken ajan tüm atamalarda işbirliği sağlanması hedeflenmiştir. Projede bahsedilen ajanlar homojen ajan olup her bir ajan tek bir görev alabilmektedir. Projede aynı zamanda merkezi algoritma ile önerilen algoritma karşılaştırılmıştır.

Son yıllarda, insansız hava araçları (İHA'lar) önemli bir rol oynamaktadır ve çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İHA'lar, birçok uygulama alanında etkin bir şekilde kullanılarak, önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu alanların başlıca olanları arama kurtarma operasyonları, güvenlik gözetleme, tarım, ulaşım ve lojistik olarak sayılabilir [1][2]. Günümüzde İHA'ların tek başlarına yetersiz kaldığı durumlar olabilir. Buna bir çözüm olabilecek sürü İHA teknolojisi giderek yaygınlaşmaktadır. Burada bir görev atama ve haberleşme problemi karşımıza çıkar. Bu noktada merkezi ve dağıtık karar verme olmak üzere iki farklı haberleşme topolojisi kullanılmaktadır. Merkezi karar verme yaklaşımı, bir merkezi otoritenin görevleri atama ve koordinasyonunu sağladığı bir sistemdir. Merkezi bir otorite, görevleri etkin bir şekilde dağıtabilir ve koordine edebilir. Ancak, merkezi bir sistemde karmaşıklık ve güvenlik riskleri ortaya çıkabilir. Merkezi bir noktanın başarısız olması durumunda, tüm sistem etkilenebilir [3]. Dağıtık sistemlerde ise merkezi bir otoriteye bağımlılık olmaması, dayanıklılık sağlar. Bununla birlikte, dağıtık sistemlerde koordinasyon ve uzlaşma sağlamak zor olabilir. İHA'lar arasında iletişim ve iş birliği gerektiren görevlerde, verimlilik düşebileceğinden üzerinde çalışılan çözümde bu konu üzerinde durulmuştur [4]. Görev atama problemlerinin çözümünde, uzlaşma ve müzakere algoritmaları gibi yöntemler kullanılmaktadır. Uzlaşma algoritmaları, İHA'lar, görev atama süreciyle ilgili bilgileri paylaşarak ve iletişim kurarak birbirleriyle anlaşmaya varır. Bu algoritmalar, farklı stratejiler ve hesaplama yöntemleri analiz edilerek daha iyi bir yapı üzerine çalışılmıştır [5]. Bu makalede, İHA sürüleri ve görev atama problemleri üzerinde genel bir bakış sunulmuştur. Merkezi ve dağıtık karar verme yaklaşımlarının önemi ve avantajları ile uzlaşma ve müzakere algoritmaları hakkında bilgi verilmiştir. Görev atama problemlerinin tanımı ve İHA sürüleri üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

2. Rapor dönemlerinde yapılan çalışmalar

Problem Tanımı

Projemizdeki en önemli hedef ajanlar arasındaki görev dağılımının minimum maliyet ve işbirliği ile olmasıdır. Buradaki en önemli problem, görev dağılımının minimum maliyet ile yapılabilme sürecidir. Görev ve ajan sayısı arttıkça bu hedefe başarıyla ulaşmak daha da zorlaşmaktadır.

$$\text{Min} (\sum_{i=1}^{St} (\sum_{j=1}^{Sa} (\phi(\delta_{ij}, \theta_i)) * X_{ij}))$$

$S_t \rightarrow$ Görev Sayısı, $f(d_{ij}, q_i) \rightarrow$ Maliyet Fonksiyonu

$S_a \rightarrow$ Ajan Sayısı, $X_{ij} \rightarrow$ ajan i ' görev j 'yi aldıysa 1'e eşittir.

Yukarıdaki ifadeden de anlaşılacağı üzere problemimiz, minimum maliyet ile tüm görevlerin yapılabilme sürecidir. Aynı zamanda ajanlar tüm görevler için işbirliği içerisinde olmalıdır. Bu sayede ajanlar arasındaki anlaşmazlık düşük seviyeye iner.

Gerçekleştirirken Araştırma Faaliyetleri

Sürü insansız hava araçları konseptindeki en önemli hedef, çoklu görevleri herhangi bir çarpışma veya anlaşmazlık olmadan "**En düşük maliyet**" ile yerine getirebilmeleridir. Bu kapsamda dağıtık sistemlerde ajanlar arasında herhangi bir anlaşmazlık olmaması için birbirleri ile haberleşebilmeli ve karar verebilmelilerdir. Merkezi olmayan algoritmalar genellikle "Consensus Algorithms" kullanmaktadır [13]. Konsensus algoritması, ajanlar için çoklu görev atamalarında kullanılan yöntemlerden biridir. Diğer bir önemli hedef ise görevlerin en düşük maliyetle yerine getirilmesidir. Bu kapsamda "Müzakere Algoritması" çalışmamızda kullanılmıştır. Müzakere algoritması, aynı görevi yapmak isteyen ajanlar için kullanılan bir algoritmadır. Bu algorithmada görevler için tüm ajanlardan teklifler toplandıktan sonra kazanan, önceden tanımlanmış bir puanlama metriğine göre seçilir [14]. Bu doğrultuda çalışmamızda "**En düşük maliyet**" hedefi için puanlama algoritması önerilmiştir.

A.) Önerilen Maliyet Fonksiyonu

Müzakere algoritması, dağıtık tabanlı sistemlerde kullanılan algoritma çeşitlerinden biridir. Bu algorithmada her bir ajan (Bizim için her bir İHA) tüm görevler için bir teklifte bulunur. Bu teklif çeşitli cost fonksiyonları ve Puanlama algoritmaları ile belirlenebilir. Bu maliyet fonksiyonlarına örnek olarak i . ajanın j . göreve olan uzaklığı olabilir. Veya i . ajanın yakıt miktarı da bu maliyet fonksiyonunda olabilir. Bizim çalışmamızda kullanılan maliyet fonksiyonu;

$$\phi(\delta_{ij}, \theta_i) = \beta_i * \theta_i - \alpha_i * \delta_{ij} \quad (1)$$

$\delta_{ij} = i$. ajanın j . göreve olan uzaklığı (m)

$\alpha =$ Birim mesafe başına harcanan enerji katsayısı (J/m)

$\theta_i = i.$ ajanın hacim cinsinden yakıt yüzdesi (m^3)

$\beta_i =$ Birim hacim başına düşen enerji katsayısı (J/m^3)

şeklinde. Her bir ajan (1)'deki fonksiyona göre ve önerilen Puanlama algoritmasına göre tüm görevler için teklifler sunmaktadır. Daha sonrasında önceden belirlenmiş bir puanlama algoritmasına göre müzakere algoritması işletilir.

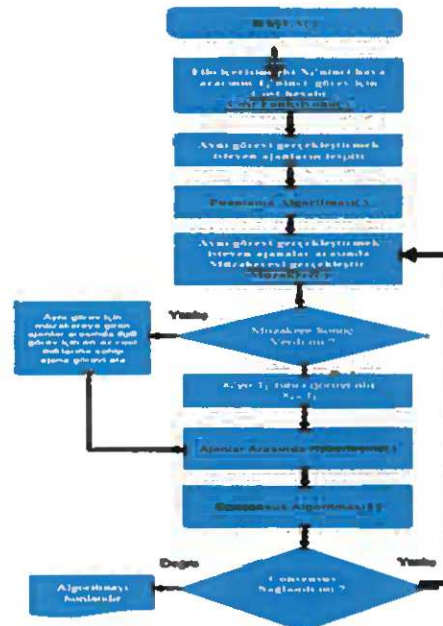
B.) Konsensus Algoritması

Konsensus algoritması, sistemdeki ajanlar arasındaki görev seçimi üzerine olan anlaşmazlıkları ortadan kaldıran merkezi olmayan networkler için kullanılan algoritmadır. Buradaki mantık her bir ajanın diğer ajanların aldığı görevler için "consensus" sağlaması üzerine geliştirilmiştir. Bu algortmada $i.$ ajanın tutmuş olduğu kazanan ajanların listesi x_i ve kazanan tekliflerin listesi y_i bulunmaktadır [13]. Her bir ajan komşu ajanlardan kazananlar listesini ve kazanan tekliflerin listesini almaktadır. Eğer aldığı kazananlar listesinde $j.$ görev için kendisinin kazananlar listesine göre daha iyi bir teklif varsa kendisinin kazanan ajanların listesini ve teklif listesini günceller.

Önerilen algoritma/lojik

Çalışmamızda önerdiğimiz algoritma "Puanlama Algoritması" olarak bahsedilecektir.

"Puanlama Algoritması" ile birlikte aynı görevi isteyen ajanlar arasında bir müzakere yapılacak ve bu algortmaya göre kazanan ajan belirlenecektir. Algoritma şu şekildedir:

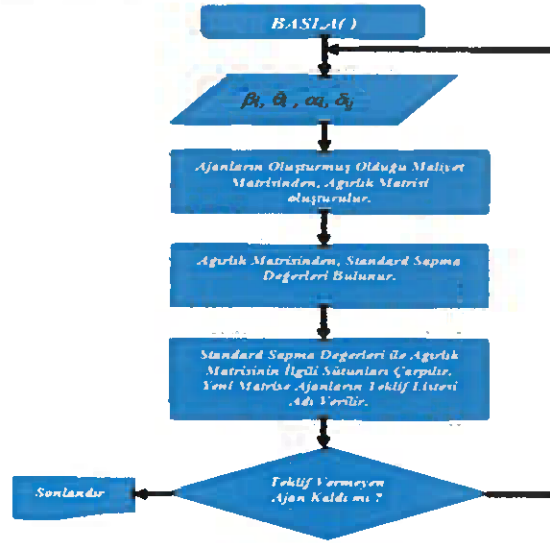


Şekil-1 Algoritma Akış Şeması

- İlk önce ajanlar kendileri için en az maliyete neden olan Task için talepte bulunur.
- Eğer 1'den fazla ajan aynı Task'e talipse müzakere algoritması işletilir.
- Eğer sistemde 1'den fazla müzakere varsa öncelik küçük indisli ajanın bulunduğu müzakeredir. Bu müzakere bitene kadar diğer müzakereler işletilmez; bekletilir.

A.) Önerilen Puanlama Algoritması

Puanlama Algoritması (Ödül Puanı) ile birlikte ajanların görevler için teklifte bulunması sağlanmaktadır. Bu tekliflerle birlikte aynı görevi almak isteyen ajanlar arasında müzakere işletilir.



Şekil-2 Puanlama Algoritması Akış Şeması

Algoritma 1 Geliştirilen Algoritma

```

1: procedure GÖREV SEÇİMİ (  $X_i, Y_i$  )
2:  $M_{ij}$  = CostFonksiyonu(  $i, j$  ) →  $i$ . ajanın  $j$ . görev için Cost Hesabı
3:  $B_{ij}$  = PuanlamaFonksiyonu( $M_{ij}$ ) →  $i$ . ajanın  $j$ . görev için Bid Hesabı
4:   if  $\sum X_{ij} = 0$  then
5:     if (  $B_{ij} < Y_{ij}$  ) then
6:        $X_{ij} = i$ 
7:        $Y_{ij} = B_{ij}$ 
8:     end if
9:   end if
10:  SEND  $Y_i$  to  $k$ 
11:  RECEIVE  $Y_i$  from  $i$ 
12:  if (  $Y_{ij} > Y_{kj}$  ) then
13:     $X_{ij} = k$ 
14:     $Y_{ij} = Y_{kj}$ 
15:     $X_{kj} = k$ 
16:  end if
17: end procedure
  
```

B.)Matematiksel Analiz ve Önerilen Puanlama Algoritmasının Çalışma Prensibi

Yukarıda bahsedilen “Puanlama Algoritması(I, J)” çeşitli matematiksel ifadeler içermektedir. Bunlar, verilerin (Cost) ağırlığının ve standard sapmasını içermektedir. Aşağıdaki Cost Matrisi her bir A_j ajanı için T_i görevini hangi cost değeri ile gerçekleştireceğini ifade etmektedir. Bu cost değerleri yukarı önerilen Cost Fonksiyonu (I, J) ile elde edilmektedir. $\rightarrow M_{ij}$

Tablo 1. Maliyet Matrisi

Görevler	Ajanlar				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
T_1	1000	980	950	2000	1500
T_2	2000	2600	2000	1300	1250
T_3	3000	3600	3500	4000	4500
T_4	4000	4600	4500	5000	5500
T_5	5000	5600	5500	6000	6500

Ağırlık Matrisinin elde edilmesi şu şekildedir.

- A_j ajanı için ağırlık sütunu;
 $T_i / \text{Toplam}(A_j)$

şeklinde. Yukarıdaki Cost Matrisine bakacak olursak A_1 ajanı için T_1 görevinin tüm görevler içerisindeki ağırlığı,

$$1000 / (1000+2000+3000+4000+5000)$$

şeklinde. Bu şekilde Ağırlık Matrisi oluşturulur.

Tablo 2. Ağırlık Matrisi

Görevler	Ajanlar				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
T_1	0.0667	0.0564	0.0560	0.1093	0.0779
T_2	0.1333	0.1496	0.1475	0.0710	0.0649
T_3	0.2000	0.2071	0.2065	0.2186	0.2338
T_4	0.2667	0.2647	0.2665	0.2732	0.2857
T_5	0.3333	0.3222	0.3245	0.3279	0.3377

Ağırlık Matrisinin oluşturulmasının ardından her bir ajan (sütun) için standart sapma değerleri bulunur ve ilgili standart sapma değerleri ile ağırlık matrisi çarpılarak Sonuç Matrisi bulunur.

Tablo 3. Standart Sapma Değerleri

	Ajanlar				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Standard Sapma Değerleri	0.1054	0.1028	0.1040	0.1083	0.1416

Tablo 4. Teklif Matrisi

Görevler	Ajanlar				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
T ₁	0.0070	0.0058	0.0058	0.0118	0.0096
T ₂	0.0141	0.0154	0.0153	0.0077	0.0080
T ₃	0.0211	0.0213	0.0215	0.0237	0.0288
T ₄	0.0281	0.0272	0.0276	0.0296	0.0352
T ₅	0.0351	0.0311	0.0338	0.0355	0.0416

Ajanlar teklif matrisindeki değerlere göre müzakereyi işletmektedir. Teklif Matrisi ajanların görevler için "Tekliflerini" ifade eder. $\Rightarrow B_{ij}$, $n \Rightarrow$ Task Sayısı

Yukarıda bahsedilen ağırlık matrisinin ardından standart sapma değerinin maksimum değerinin bulunabilmesi için ağırlık matrisi standart sapma fonksiyonun türevi alınır.

$$\frac{d(\text{Ağırlık Matrisi } (\sigma(n)))}{dn} \quad (2)$$

$\Rightarrow \frac{\sqrt{n}}{n}$ şeklinde bulunur. Bu da demek oluyor ki bir ağırlık matrisinde herhangi bir ajan için maksimum standart sapma değeri yukarıdaki denkleme eşittir. Çeşitli maliyet ve ağırlık matrislerinin incelenmesi sonucu şu sonuç çıkmıştır :

Toplam(Ağırlık_Matrisi_Standard_Sapma_Değerleri) = y

$$y < \frac{\sqrt{n}(n+1)}{n^2} + \text{GaussNormalDistribution}(0, \frac{\sqrt{n}(n+1)}{10n^2}) \quad (3)$$

"y" ifadesi eğer (3)'teki eşitliği sağlıyorsa şu sonuçlar ortaya çıkacaktır :

- Çözümümüzün "Merkezcil Çözüm" olma şansı artacaktır.
- Merkezcil çözümün elde edilmesi kesin olmasa bile worst case durumundan uzaklaşmış olunacaktır.

GaussNormalDistribution(0, $\frac{\sqrt{n}(n+1)}{n^2}$) ifadesini şu şekilde düşünebiliriz. Gauss dağılımı ile random olarak maksimum

$\frac{\sqrt{n}(n+1)}{10n^2}$ minimum 0 değeri alınmaktadır. Bu ifadeyi sistemdeki "gürültü" olarak da tanımlayabiliriz.

C.) Ajanlar Arasında Haberleşme

Ajanların birbirleri ile haberleşmesi oldukça önemli bir konudur. Bir merkezden N tane ajan ile haberleşmek, ajanların birbirleri ile haberleşmesinden daha maliyetlidir. Nedeni ise şudur; tek merkezden N tane ajan ile aynı anda haberleşmek için yüksek bir bant genişliğine sahip olmak gerekmektedir. Ancak dağıtık yani ajanların kendi aralarında haberleşmesi için bu söz konusu değildir. Bu yüzden dağıtık tabanlı sistemler bu tür uygulamalar için çok daha uygundur. Ajanlar arası haberleşmede [2]'de bahsedilen yöntem kullanılacaktır. Bu yöntem şunu söylemektedir:

- $X_i \rightarrow i$. ajanın tuttuğu kazananlar listesi
- $y_i \rightarrow i$. ajanın tuttuğu kazanan tekliflerin listesi
- $X_{ij} \rightarrow i$. ajanın j . görev için tuttuğu kazanan ajanın ID'si
- $y_{ij} \rightarrow i$. ajanın j . görev için tuttuğu kazanan teklifin değeri

Aynı zamanda ajanlar birbirleri ile haberleşirken X_{ij} ve y_{ij} yani kazananlar listesi ve kazanan tekliflerin listesini birbirlerine göndermektedir. Bu sayede Algoritma (1)'de bahsedilen müzakere ve consensus algoritmaları işletilir. Müzakere algoritması işletilirken yukarıda "Önerilmiş Olan Puanlama Algoritması" kullanılmaktadır. Aşağıdaki haberleşme tablosu, [19]'de bahsedilen "Table 1" temel alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 5. Ajanlar Arası Haberleşme

Ajanlar Arası Haberleşme		
Sender	Receiver	Receiver'in j .task için Aksiyonu
k	k	Aksiyon yok
k	i	Eğer $Y_{ij} > Y_{ki}$ ise Ajan i Task'ı bırakır
k	(k,i)	Eğer $Y_{ij} > Y_{(k,i)}$ ise Ajan (k,i) Task'ı bırakır
k	0	k ajana Task'ı Bırakır.
i	i	Aksiyon yok
i	k	Eğer $Y_{ki} < Y_{ij}$ ise Ajan k Task'ı Alır.
i	(k,i)	Eğer $Y_{(k,i)} > Y_{ij}$ ise Ajan (k,i) Task'ı Alır.
i	0	Ajan i Task'ı Alır.
(k,i)	i	Eğer $Y_{(k,i)} > Y_{ij}$ ise Ajan i Task'ı Alır.
(k,i)	k	Eğer $Y_{ki} > Y_{ij}$ ise Ajan k Task'ı Alır.
(k,i)	0	Ajan (k,i) Task'ı Alır.
0	i	Ajan i Task'ı Alır.
0	k	Ajan i Task'ı Alır.
0	(k,i)	Ajan (k,i) Task'ı Alır.

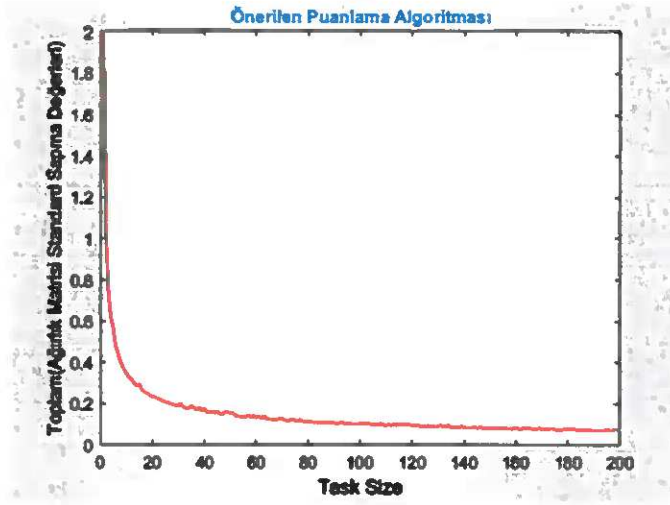
$(k, i) = k$ ve i dışındaki ajanları temsil etmektedir.

3. Sonuç

Bu bölümde yukarıda detaylıca bahsedilen puanlama algoritmasının bazı çıktıları gösterilecektir. Aşağıda gösterilen grafik, denklem (3)'ün çizilmiş halidir.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\sqrt{n}(n+1)}{2^I} \right) + \text{GaussNormalDistribution} \left(0, \frac{\sqrt{n}(n+1)}{10n^2} \right)$$

(3)'ün limitini aldığımızda ve "n" değeri arttıkça değerimiz 0'a gidecektir. Bu da şu anlama gelmektedir; filodaki ajan sayısı ve görev sayısı arttıkça **"En düşük Maliyet"** veya **"Merkezcil Çözüm"**ü tutturmak oldukça zor olacaktır. Çünkü sağlanması gereken eşitlikteki "y" değerinin 0'a gitmesi düşük olasılıktadır.

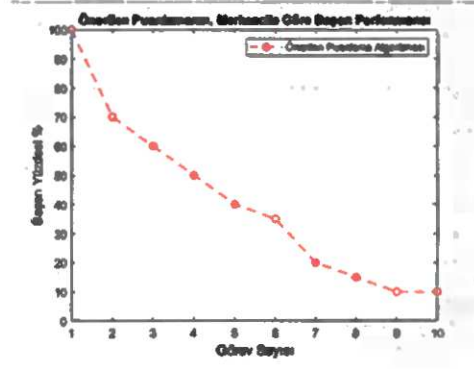


Şekil-3 Puanlama Algoritması



Şekil-4 Simülasyon Haritası

Şekil-4, ajanların bulunduğu ortamı simüle edebilmek adına kullanılmıştır. Harita olarak Avustralya haritası seçilmiştir. Bu sayede görevler tanımlanmış ve ajanlar için gerekli olan maliyet değerleri, maliyet fonksiyonları ile bulunmuştur.



Şekil-5 Puanlama Algoritması Performansı

Şekil-5'de önerilen puanlama algoritmasının, Merkezci maliyet algoritmasına göre başarı performansı gösterilmektedir. Simülasyon ortamında hesaplanan maliyet fonksiyonlarıyla birlikte tüm algoritma çalışmaktadır. Başarı performansı bulunurken her bir durum için (her bir görev sayısı için) 20 adet maliyet matrisi kullanılmıştır. Öngörüldüğü üzere görev sayısı arttıkça başarı yüzdemizde düşmektedir. Lakin şu unutulmamalıdır, Merkezci çözümün sağlanamadığı durumlarda da yine de worst case durumdan kaçınılmıştır. Yani Merkezi çözümün alınamadığı durumlarda da ikinci veya üçüncü en iyi çözümde alınabilmektedir.

4. Çıktılar (Yayınlar, sunumlar v.b.)

Projemiz, TUSAS-Lift Up kapsamında bildiri şeklinde TUSAS'a iletilmiştir.

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI – SOYADI - İMZA	AKADEMİK DANIŞMANIN ADI – SOYADI - İMZA	SANAYİ DANIŞMANIN ADI – SOYADI - İMZA
Enes AKGÜL	Doç. Dr. Serkan KURT	Mutullah EŞER
		

Tarih: 18/03/2024

Kaynaklar

- [1] Tal Shima, Steven J. Rasmussen, and Andrew G. Sparks. "UAV Cooperative Multiple Task Assignments using Genetic Algorithms." Proceedings of the American Control Conference, 2005.
- [2] Nuri Ozaip, Ugur Ayan. "Cooperative Multi-Task Assignment for Heterogeneous UAVs." Informatics and Information Security Research Center, The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Kocaeli, Turkey.
- [3] Maria Pia Fanti, Agostino M. Mangini, and Walter Ukovich. "A Quantized Consensus Algorithm for Distributed Task Assignment."
- [4] Han-Lim Choi, Luc Brunet, and Jonathan P. How. "Consensus-Based Decentralized Auctions for Robust Task Allocation."
- [5] George Marios Skaltsis, Hyo-Sang Shin, and Antonios Tsourdos. "A survey of task allocation techniques in MAS."
- [6] Özdemir, Serhat, and Kemal Leblebicioğlu. "Distributed control and decision making for multi-vehicle systems." International Journal of Systems Science.
- [7] Kaminer, Isaac, et al. "Decentralized control of unmanned aerial vehicles: challenges, models, and algorithms." Proceedings of the IEEE.
- [8] Zeng, Ying, et al. "A survey on consensus problems in multi-agent coordination." Coordination Control of Distributed Systems. Springer, Cham, 2019.
- [9] Yu, Jie, et al. "Distributed decision-making and control for multi-vehicle cooperative transportation systems: Challenges, approaches, and future directions." Transportation Research Part C: Emerging Technologies.
- [10] Lu, Yingying, et al. "Survey on distributed consensus control of multi-agent systems with diverse sensing and communication delays." IEEE Transactions on Industrial Electronics.
- [11] Mesbahi, Mehran, and Magnus Egerstedt. "Graph theoretic methods in multiagent networks." Princeton University Press, 2010.
- [12] Kim, Hyondong, and Ho Chol Shin. "Centralized and decentralized approaches to UAV formation control." Journal of Intelligent & Robotic Systems.
- [13] Han-Lim Choi, Member, IEEE, Luc Brunet, and Jonathan P. How, "Consensus-Based Decentralized Auctions for Robust Task Allocation", IEEE, 2009
- [14] Luc Brunet, "Consensus-Based Auctions for Decentralized Task Assignment", June 2006, Massachusetts Institute Of Technology