

Akıllı Tarım Uygulamalarında Robotik Kablosuz Sensör Ağlarında Çoklu Robot Görev Tahsisi

Multi-Robot Task Allocation in Robotic Wireless Sensor Networks in Smart Agricultural Applications

 Ömer Melih Gül

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Email: omermelih.gul@bau.edu.tr

Özetçe—Bu makale, akıllı tarım uygulamalarında bir baz istasyonu ve birkaç robot kümesi içeren bir robot ağ kümesinde enerji farkında çok robotlu görev tahsisi (ÇRGT) problemi incelemektedir. Her turda M sayıda görev ve $M+1$ robot bulunur. Bir robot, küme başkanı seçilir ve o turdaki her robota bir görev verir. Kalan M robotlarından veri toplar ve bunu baz istasyonuna gönderir. Bu çalışma, her bir düğümün seyahat mesafesi, her görev için gereken enerji, pil seviyesi ve enerji toplama kapasitelerini göz önünde bulundurarak M görevlerini kalan M robotlarına optimum veya ideale yakın olarak tahsis eder. Bu makale, makine öğrenmesi tabanlı yeni bir algoritma tanıtmaktadır. Performansı, 5 görev içeren 6-robotlu ve 10 görev içeren 11-robotlu senaryo için farklı enerji hasatlama yöntemleri altında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Çok robotlu sistemler, görev tahsisi, kablosuz ağlar, enerji toplaması

Abstract—This paper studies an energy-aware multi-robot task-allocation (MRTA) problem in a robot network cluster with a base station and several clusters of robots in smart agricultural applications. Each round has M number of tasks and $M+1$ robots. A robot is elected cluster head and assigns one duty to each robot in that round. It gathers data from the remaining M robots and sends it to the BS. This work allocates M tasks to the remaining M robots optimally or near ideally by considering each node's distance to travel, energy required for each task, battery level, and energy-harvesting capabilities. This paper introduces a new machine learning-based algorithm. Its performance is examined under different energy-harvesting methods for 6-robot for 5 tasks and 11-robot scenario for 10 tasks.

Keywords — Multi-robot systems, task allocation, wireless networks, energy harvesting

I. GİRİŞ

Geçmiş zamanda, tarımda işçiler yabancı otları tohumları ekmeden evvel doğrudan tespit etmekteydi. Gelişen tarım teknolojisiyle beraber insan emeği bugünkü tarımda ise oldukça azdır. Çiftçiler başka tarlalara taşınması gıda üretimini zarara uğratmıştır.

Uzmanlar, nüfus arttıkça, arazi küçüldükçe ve doğal kaynakların azalmasıyla kendisine yeterli akıllı tarıma daha çok odaklanmaktadır; bu amaçla çözümler üzerine çalışmaktadır. Algoritmaların bir arada uyumlu biçimde çalışması, sistem genelinde nesnelerin interneti temelli gözetimini etkinleştirir.

Bitki, toprak ile çevreyi iyi bilir. Melez tohum ve yapay kompost verimlilik artırmaktadır. İklim, hava, su, tohum ve kompost ile çiftçilik etkilenmektedir. Bu etkenlerden iklim kontrol edilememektedir; havayı, suyu dağıtır. Gübre ve tohum seçimi ise yönetilebilmektedir. Bu yönetilebilen etkenler de doğru seçim yapabilmek için akıllı tarıma olan ihtiyacı ortaya koymaktadır [1].

Tarımda yeni robot teknolojileri yaygınlaşmaktadır. Buna örnek olarak birkaç çalışma gösterilebilir. Otonom tarımsal robotlarına yapılan büyük yatırımlar ile modern çiftlikler üretkenlik artışı hedefleyebilmektedir. Tarımsal çalışma ortamının karmaşıklığı ve çeşitliliği, mevcut makine tasarımıyla engellerin aşılmasını zorlaştırmaktadır. [2]'deki araştırma, sera zorluklarına karşı mobil bir robot platformunun inşa edilmesini ve kontrol edilmesini incelemektedir. [3]'deki çalışma, çoklu yapay zekalı derin öğrenme sistemi, robot işletim algoritması ve VPN tabanlı ağ ve güvenlik iletişimi sunmaktadır. [4]'e göre, meyve üretimi, meyve bahçesi koşulları ve ağaç türlerinin çeşitliliği nedeniyle fiziksel emek gerektirdiğinden, makineleşme ve otomasyon gecikmiştir. [5]'deki çalışma, robotik kollu bir meyve toplama cihazı önermiştir. Meyve hasat eden robot, son efektörleri alt kısmına yerleştirmeden önce meyvenin konumunu belirlemek için sensörleri ve bilgisayar görüşünü kullanmaktadır. Armut ve elmalar sahada bu teknikle bağımsız olarak tespit edilmiş ve toplanmıştır.

Akıllı tarım, birçok fayda sağlasa da bunu yapabilmeyenin de zorlukları ve ortaya çıkan problemler vardır. Bunlardan bir tanesi de akıllı tarımda kullanılan sensörlerin (algılayıcılar) ve robotların uyumlu biçimde görev yapabmesidir.

Bu giriş bölümünün kalan altbölümlerinde, öncelikle incelenen problemin güdülenmesi verilmektedir. Sonraki alt bölümde, bu makalede ele alınan probleme yakın (benzer problemleri inceleyen) makalelerden bahsedilmiştir. Sonraki altbölümde, makalemizde literatüre yapılan ana katkılar özetlenmiştir. Son altbölümde ise, makalenin sonraki bölümlerinin organizasyonu verilmiştir.

A. Güdüleme

Kablosuz sensör ağları (KSA), tarım gözetimini, çevrenin gözetimini, trafiğin gözetimini, hava trafiğinin kontrolünü, fiziki güvenliği, sanayi üretim otomasyonu, sağlık hizmetlerini, akıllı şehirleri ve dağıtık robotları kapsayan uygulamaları olan kablosuz haberleşen akıllı ve ucuz küçük boyutlu sensörleri kullanmaktadır. [6,7].

Çok sayıda ucuz, pilli kablosuz düğüm, ortamlarını KSA'lerle izlemektedir. Kablosuz sensörler ve robot ağları artık zengin kaynaklı hareketli robotlar içermektedir. Tehlikeli ortamlarda dahi robotlar, otomatikleştirilmiş görevleri insan yardım etmeden tamamlayabilmektedir. Durağan sensörler, volkanik ortamdaki gazların yoğunluğu, sıcaklık ve diğer parametreleri ölçebilirler. Bu parametreler görece değiştiğinde acil bir durum oluşmaktadır. Termal kameraları ve sismometreleri olan bir robot olayları incelemelidir [8].

Yakın zamanda, tehlike içeren bölge temizlemek, tarla hasatı, alanın keşfedilmesi, savaşın gözetimi, arama ve kurtarma görevleri gibi uygulama alanlarında robot konuşlandırılması üzerinde çalışılmıştır. Kompleks görev alanları başarısızlığa karşı duyarlıdır ve buralarda görev tamamlanması yavaş olur. Böyle durumlarda bir robotun yerine çok robotlu sistemler kompleks görevler tamamlamak için daha iyi bir çözüm olabilir [9].

Robotik ve KSA 20 yıldır oldukça fazla çalışmada incelenmiştir. Bununla birlikte, bu bilimsel alanın kesişimi, araştırmacılara henüz keşfedilmemiş birçok potansiyel araştırma yönü sağlamaktadır. Robotlar ve kablosuz sensörler birbirini tamamlamaktadır. [10] çalışmasında KSA'da robotik uygulamaları incelenmiştir. [12]'e göre robotik ve KSA'nın işbirliğinden oluşan RKSA, işbirliğine dayalı kontrol, öğrenme ve adaptasyon yoluyla belirli iletişim performansı gereksinimlerini karşılayıp sürdürürken belirli algılama hedeflerine ulaşmayı amaçlayan otonom ağ bağlantılı çok robotlu bir sistemdir. Robotik ve KSA, ulaşım, hava tahmini, sağlık, madencilik, tarım, çevre, otonom sürüş, arama kurtarmada kullanılır [11,12].

Çoklu robot sistemleri, bağımsızca çalışmak için çok robotlu görev tahsisi (ÇRGT) problemini çözmelidir. Temel doğrusal atama problemi, tüm etkenlerin getirilerini eniyileştiren (ya da maliyeti enazaltan) görevlere birebir etken atama bulmak biçimindedir [13].

Otonom keşfetme [13], lojistik [14], insansız arama ve kurtarma [15], keşfetme [16] gibi alanlarda ÇRGT

problemi ortaya çıkabilir. ÇRGT NP-zor bir problem olarak kabul görmektedir [17, 18]. Önerilen yöntemler zamansal karmaşıklık-ters özelliğe maliktir. Makalemiz, tarım uygulamalarını, çok robotlu sistemini ve görev dağıtımını düşünerek tasarlamıştır.

Robotlar, bir haberleşme ağında sayıları az, pil değişimi zor ve pahalı cihazlardır. Bu pil değişimleri için de genelde başka robotların kullanılmaktadır. Bu anlamda, bir robot ağının ömrünün olabildiğince uzaması, bu pil değişimi ve diğer bakımları daha seyrek (daha uzun zaman aralıklarıyla) yapmak anlamına gelmektedir. Bu da pil değişimi gibi ek işleri yapan robotların daha az kullanımı ve daha ekonomik çözüm anlamına gelmektedir. Özellikle, tarım gibi ürün maliyetlerinin olabildiğince azaltılmaya çalışıldığı bir alanda verimli bir çoklu robot görev tahsis algoritması, ekonomik olarak belirgin bir katkı verebilir. Tarımda robotların kullanılması, tarımda işletme maliyetlerini ve tepki sürelerini azaltmaktadır [19].

Enerjide verimlilik, çoklu robot sisteminde ağ ömrünü artırmaktadır. Bu makale, her robotun aldığı mesafe, pil seviyesi ve tahmini hasatlanan enerjiyi değerlendirmektedir.

Bu çalışmada incelenen probleme genel bir yaklaşım önerebilmek için daha genel bir robot kümesi ele alınmıştır. Bu robot kümesinin haberleşmesine çok sınırlama getirmesek de biraz geniş bir alanda görev yaptığını düşünülürse robotların RF veya WiFi ile haberleştiği düşünülebilir (Tarımsal uygulamalarda Bluetooth'un yetersiz kalması beklenebilir).

B. Önemli Katkılarımız

Bu makale, [29]'daki bildirinin genişletilmiş halidir. Makalemizin literatüre esas katkısı şu şekilde özetlenebilir:

- Bilindiği kadarıyla, bu makale tarım uygulamalarında kullanılan ve enerji hasatlayabilen robotlar için görevlerin tahsisi üzerine ilk çalışmadır.
- ÇRGT eniyileştirmemiz, her robotun göreve mesafesini, görevin tamamlanması için gerekli enerjiyi, pil seviyesini ve enerji hasat yeteneğini tahmin edebilmektedir.
- Bu makalede makine öğrenmesi tabanlı ÇRGT yaklaşım sunulmaktadır.

C. Teşkil

Makalemiz şu biçimde teşkil edilmektedir. Bölüm II makaleyle benzer çalışmaları sunulmaktadır. Bölüm III sistemin modelini ve problemi tanıtır. Bölüm IV'te, yeni ÇRGT yaklaşımı tanıtılmaktadır. Bölüm V, 5 ve 10 robot durumlarını farklı enerji hasatlama modelleri ile aynı sayıda göreve sahip durumlarda ÇRGT algoritmalarını değerlendirir. Bölüm VI, makaleyi özetler ve gelecek problemleri önermektedir.

II. İLGİLİ LİTERATÜR

Bu bölümde son yıllarda gelişen çok robotlu görev tahsisi (ÇRGT) probleminin literatüründeki ilgili çalışmalara değinilmektedir.

[20]'deki çalışmada Macar (Hungarian) yöntemi, çoklu robot bir sistemindeki temel bir ÇRGT sorununa merkezi yapıda bir en iyi çözümdür. Bu çözüm, merkeziyetçi yaklaşımın sınırlamasına maliktir. Örneğin, topolojide dinamik değişime yavaş reaksiyon gösterirler. Bu sebeple, dağıtık algoritmalar pratik çözümler olarak sunulmaktadır.

[21]'deki çalışma, çok robotlu bir sistemde bir ÇRGT problemi incelemektedir. Bu sistem, görevler ile robotların aynı sayıda olduğunu ve her robotun tek görev yapabileceğini varsaymaktadır. Makalemiz, merkeziyetçi ve dağıtılmış algoritmalar arasında iyi bir değiş tokuş sağlaması nedeniyle robotlar görev almak amacıyla teklifine izin veren, dağıtılmış ihale tabanlı bir ÇRGT yöntemi önermektedir.

[22]'deki çalışma, bir ÇRGT problemi incelemiştir. Herhangi bir robot, her turda bir ya da birden çok göreve atanabilmektedir. Ek olarak, bu çalışmada sensörlerin görevleri algıladığı ve bunların robotlara bildirildiği dağıtık bir kablosuz sensör ağ senaryosu ayrıca araştırılmıştır. Robot-görev çifti arasında ikili değiş tokuşlar, ikili mesafe tabanlı bir eşleştirim yöntemi kullanıp robotların aldığı toplam yol uzunluğu azaltılmıştır.

[23]'teki çalışma, bir çoklu robot sisteminde görevlerin ayrı gruplarla oluşturduğu ve robotların görev içinde başarabileceği iş sayısında bir sınırlamanın var olduğu dağıtık bir çevrimdışı ÇRGT problemini incelemiştir. Hedef, görevleri robotlara atayıp tüm robot getirilerinin toplamını enükseltmektir. Yazarlar, merkeziyetçi, merkeziyetçi olmayan ve dağıtık ihaleye temelli çözümler önermektedir.

[24]'de, ayrı değişken kullanmış çok, doğrusal olmayan kritere malik bir robotlu bir görev, robot, süresi uzatılmış atamak ve ÇRGT problemi tanımlanmıştır. Bu probleme yönelik yaklaşımlar, yol mesafesini, görevi tamamlama süresini ve enerji fizibilitesini eş zamanda en iyileştirmektedir. Yöntemler, sadece termogüneş enerji santraline değil, lineer olmayan bir maliyet işlevine malik çok kriterli ÇRGT problemlerine uygulanabilmektedir. Genetik algoritma, geniş ölçekli bir problem için global optimuma çabuk ulaşmaktadır. Hesaplamak kapasitesini gözönünde bulundurularak, parametrelerin ayarlaması basit biçimde hesaplama süresi ve doğruluk arasında değiş tokuş yapabilmektedir.

[25], program tabanlı bir ÇRGT problemi inceler. Bu problemin çözümü için kombinatorik eniyileştirmek NP-zor bir yaklaşımdır. Bu çözüm de, dağıtık bir ÇRGT için altmodülerliği ve görevlerin örneklemelerini kullanmaktadır. Çözümsel bakımdan, çokterimli zamanda tekdüze altmodüler için eniyi çözümün yarısını ve tekdüze olmayan altmodüler için çeyreğini

garantileyebilir. Performansı değerlendirmek ile kuramsal incelemeleri doğrulama amacıyla iki ÇRGT durumunun benzetimi yapılmıştır. Görece az işlem karmaşıklığıyla tekdüze ve tekdüze olmayan durumda güncel önerilen yöntemlerden daha iyi başarımlar sergilediği gösterilmektedir.

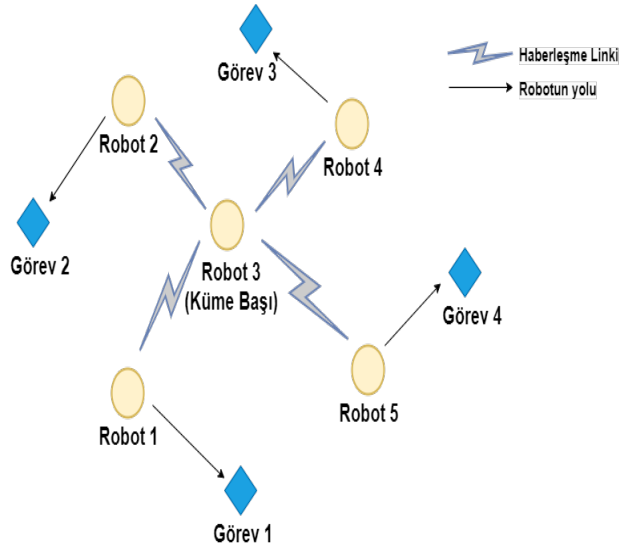
III. SİSTEM MODELİ VE PROBLEM TANIMI

Bu bölümde incelenen iletişim sisteminin modeli sunulmaktadır. Sonrasında, bu sisteme göre incelenen problem tanımlanmaktadır.

A. Sistem Modeli

Bu makalede, çok mobil robot içeren bir robot ağını ele almaktadır. Bu sistemde küme başı robot diğer robotların herbirine bir görev tahsis etmektedir; bunun için de bu robotlarla farklı haberleşme kanalları üzerinden girişim olmadan haberleşebilmekte ve görevleri sonunda değerlendirme yapmak için onlardan veri toplamaktadır.

Şekil 1, bir çoklu robot sisteminin kurulumunu ve burada atanan görevleri göstermektedir.



Şekil 1. Robot 3'un küme başı olduğu toplamda 5 robottan oluşan bir çoklu robot sisteminde 4 robota 4 görevin olduğu çoklu robot görev tahsisi problemi. Burada, küme başı robot diğer robotlara görev tahsisi etmektedir.

S , robotların indeks kümesidir. $M + 1$ robottan biri küme başı robot olarak seçilir. Kalan M sayıda robotlar için her turda M görev bulunmaktadır. Eğer i . robot t . turunda küme başıysa $H(t) = i$. Küme başı robot, çok robotlu sistemdeki kalan M robottan verimi toplar. $E_i^h(t)$, i . robot tarafından t . zaman diliminde hasatlanan enerjidir ve $B(t)$, robotun pilindeki t . Zamanında kalmış enerjidir.

Enerji farkında çok robotlu görev tahsisi, eşleşen bir gönderme problemidir. $M - to - M$ görev tahsis (ya da eşleştirim) algoritması şu şekilde tanımlanmaktadır.

Tanım 1. Bir $M - to - M$ görev tahsis algoritması, t . turundaki i . robota j . görev atanmaktadır. t . tur için eşleştirim fonksiyonu şu şekildedir: $\pi(i, t): i \rightarrow j$, burada $j \in \{1, 2, \dots, M\}$ ve $i \in S - H(t)$ 'dir.

B. Problem Tanımı

ÇRGT problemi, birçok eşleşim gönderme yönteminden farklı olarak, robotun enerjisini gözönünde bulundurur. Bir robot, olayına ya da hedefine varduktan sonra bir görevi yapmaya yetecek enerjiye sahip değil ise, onun atanmaması gerekir.

Bu çalışmada makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunulmaktadır. Enerji hasatlama süreçleri üzerine tahmin yapıp karar verebilmek için uygulanan takviyeli (pekiştirmeli) öğrenme yaklaşımının da yaygın bir örneği olarak Q-öğrenme tercih edilmektedir. Bunun önemli nedenlerinden birisi Q-öğrenmenin modelden bağımsız bir pekiştirmeli öğrenme yöntemi olmasıdır.

Bu problemin çevresi ile ilgili bilgiler önceki altbölümde verilmiştir.

Bu problemde, Q-öğrenmeyi modellemek için eylemleri (a_t), durumları (s_t), ödülü (R_t) tanımlamak gerekir.

Bir robot için her bir görevi seçmesi bir eylemdir. M robot için M görevin olduğu senaryoda eylem kümesi, $A = \{1, 2, \dots, M\}$ şeklinde tanımlanabilir.

Bir robot için her bir görevi seçmesi sonucunda oluşan konum bir durumdur. M robot için M görevin olduğu senaryoda durum kümesi, S robotun pil seviyesi şeklinde tanımlanabilir.

Bir robot için her bir görevi gerçekleştirmesi bir ödüldür.

Bir robotun bir turda enerji yetersizliğinden dolayı hiçbir görevi gerçekleştirememesi ise bir cezadır.

γ , indirim faktörüdür (etkenidir).

Aşağıdaki adımlara dayanarak Q-öğrenme yapılır:

- 1) Ortam, aracıya mevcut durumları s_t sağlar;
- 2) Aracı, Q değerlerine göre bir eylem a_t seçer;
- 3) Çevre, temsilciye geri bildirim ödülleri veya cezaları verir;
- 4) Aracı, seçilen eylemin Q değerini Q tablosunda günceller.

Q değerinin güncellenmesi denklemi aşağıda verilmiştir:

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) + \alpha \left(R_{t+1} + \gamma \max_{a \in A} [Q_t(s_{t+1}, a)] - Q_{t+1}(s_t, a_t) \right)$$

IV. ÖNERİLEN MAKİNA ÖĞRENMESİ (MÖ)-TABANLI ÇRGT ALGORİTMASI

ÇRGT problemi, her bir robotun aldığı mesafeyi, pillerin seviyelerini, görevleri tamamlamaya yetecek için gereken enerjiyi ve hasatlanacak tahmini enerjiyi göz önünde bulundurularak çözülmektedir. Robot, enerji hasadını tahmin edilebilir. Burada önerilen EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT Yaklaşımı, Macar algoritma [20] bazlı bir algoritmadır. En iyi Macar (Hungarian) algoritması, M robot için $O(M^3)$ hesaplama karmaşıklığındadır.

Enerji hasat süreci tahmini için çok sayıda yöntem kullanılır [26]; bu çalışmada makina öğrenmesi (MÖ)-tabanlı bir ÇRGT yaklaşımı Algoritma 1'de önerilmektedir.

Algorithm 1 Makina Öğrenmesi (MÖ)-tabanlı Çoklu Robot Görev Tahsisi (ÇRGT) Algoritması

Başlangıç: The index set of tasks is $T = \{T_1, \dots, T_M\}$.

Algoritma:

(1) Her robotu bir görevle eşleştirin.

for $i = 1 : M$

(2) Her robot i için, robotta eşleştirilen görev yerine ulaşmaya kadar hasatlanan enerjiyi makina öğrenmesi (MÖ) ile tahmin edin.

(3) Her robot i için, her robot tarafından katedilen mesafenin tamamı ve pil seviyesi, her görevi gerçekleştirmek için gereken enerji ve her robotta hasatlanan enerjinin MÖ-tabanlı tahmini değerleri ile toplam tahmini enerji harcaması maliyetlerini hesaplayın.

(4) Her robot i için diğer robotların maliyetlerine bakın.

(5) İki robot birbiriyle görev değiştirdiğinde maliyet düşerse.

(6) Robotlar atanan görevlerini değiştirir.

(7) Aksi takdirde robotlar kendilerine atanan görevleri değiştirmezler.

end

Şekil 2, MÖ Tabanlı ÇRGT Algoritmasını göstermektedir.

Burada kullanılan makine öğrenmesi yaklaşımı takviyeli öğrenmedir. Bunun içinde Q-learning algoritması [27] kullanılabilir.

V. SAYISAL SONUÇLAR

Burada EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, [28] çalışmasının önerdiği eniyi başarılı EH ve Göreve duyarlı ÇRGT yaklaşımıyla kıyaslanacaktır. Benzetim deneyleri, her robotun atandığı göreve doğru $v = 10$ m/s hız ile yol aldığı $1000 m \times 1000 m$ 'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. En başta her bir robot $B_i = 600 mJ$ enerji depolayabilen dolu bir pile malikdir.

Bu bölümde, makine öğrenmesine dayalı çoklu robot görev tahsisi politikasının performansını diğer politikaların performansı ile 5-robot ve 10-robotlu senaryolarda iki farklı enerji hasatlama şekilde karşılaştırılmıştır: 1) Bağımsız ve Özdeş Dağıtılmış (B.Ö.D.) EH Süreci 2) Markov EH Süreci

A. 5-robotlu durum

Bu altbölümde 5-robotlu senaryoda öncelikle robotların enerji hasatlama süreçleri bağımsız ve özdeş dağıtılmış (B.Ö.D.) EH Sürecine göre düşünülerek çoklu robot görev tahsisi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. Daha sonra robotların enerji hasatlama süreçleri Markov EH Sürecine göre düşünülerek çoklu robot görev tahsisi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır.

1. Bağımsız ve Özdeş Dağıtılmış (B.Ö.D.) EH Süreci

Bu altbölümde, B.Ö.D. EH sürecinde 5 robot -5 görev durumu incelenmektedir. Her robottaki süreç birbirinden farklı B.Ö.D biçiminde oluşturulur.

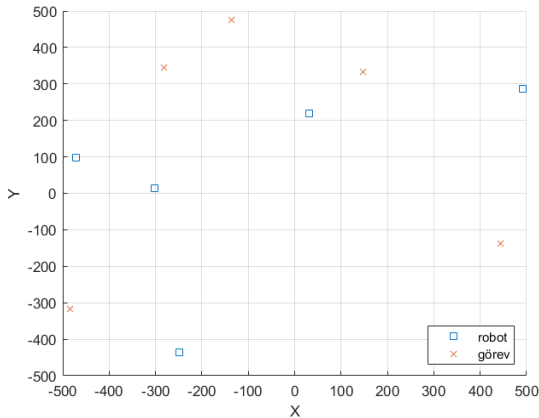
Şekil 3, 1000 m × 1000 m alandaki 5 B.Ö.D. EH robot düğümleri ve 5 görevin konumlarını gösterir.

Şekil 3'te 5 B.Ö.D. EH robotların konumları şu şekildedir:

$$(\varepsilon_1(0), \varepsilon_2(0), \varepsilon_3(0), \varepsilon_4(0), \varepsilon_5(0)) = ((-472, 99), (-302, 15), (31, 219), (492, 287), (-248, -437)).$$

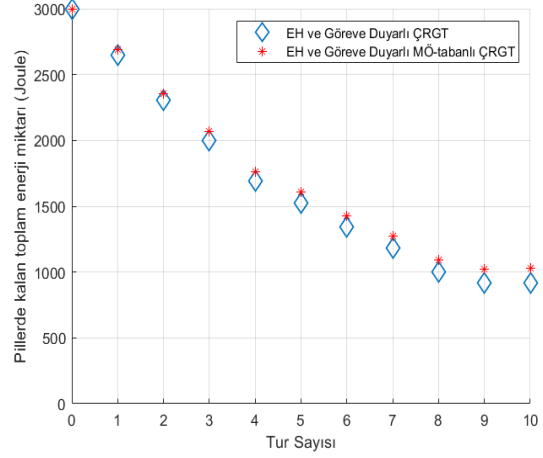
Şekil 3'te 5 görevin konumu şu şekildedir:

$$(\xi_1(1,1), \xi_2(2,1), \xi_3(3,1), \xi_4(4,1), \xi_5(5,1)) = ((282, 346), (-137, 475), (148, 334), (443, -137), (-484, -317)).$$



Şekil 3. 5 B.Ö.D. EH robotların ve 5 görevlerin pozisyonları, sırası ile "kare" ve "çapraz" işaretçilerle gösterilmektedir.

Şekil 4, 5 B.Ö.D.'nin pillerinde kalan toplam enerjiyi gösterir. B.Ö.D. EH süreçleri. 5 robot olduğundan, robotların pillerinde kalmış enerjinin toplamı en başta $5 \times 600 \text{ mJ} = 3000 \text{ mJ}$ 'tür.



Şekil 4. B.Ö.D. EH sürecindeki tur sayısına karşı 5 B.Ö.D. EH robotların bataryalarında kalmış enerjinin toplamı

Şekil 4'ten aşağıdaki gözlemler yapılabilir. 1., 2., 3. turda, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Görev farkında ÇRGT'ye kıyasla daha iyi başarımlar göstermektedir (%2.2 fazla enerji depolamaktadır). 4. turda, EH ve Görev farkında olan ÇRGT da EH ve Görev farkında olan ÇRGT'den %4.3 iyi başarımlar göstermeye başlamaktadır. Esasen 7. turda, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Görev farkında ÇRGT'yle kıyaslandığında %7.45 daha iyi görece başarımlar göstermektedir. Son olarak, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, 10. turda EH ve Görev farkında ÇRGT kıyaslandığında görece en iyi başarımlarını (%12 fazla) göstermektedir.

Daha fazla ayrıntı için Tablo I incelenebilir.

TABLO I. BU TABLO, BAĞIMSIZ VE ÖZDEŞ DAĞITILMIŞ (B.Ö.D.) EH SÜRECİNE SAHİP 6 ROBOTLU BİR ÇOKLU ROBOT SİSTEMİNDE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENME TABANLI ÇRGT POLİTİKASI İLE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENME TABANLI ÇRGT POLİTİKASI UYGULANDIĞINDA ROBOTLARIN PİLLERİNDE KALAN TOPLAM ENERJİ MİKTARININ (KİLOJoule) TUR SAYISINA GÖRE DEĞİŞİMİNİ GÖSTERİR (EGMÖ, EH VE GÖREV FARKINDA MÖ-TABANLI ÇRGT'Yİ GÖSTERİRKEN EG, EH VE GÖREV FARKINDA ÇRGT'Yİ GÖSTERMEKTEDİR.) 0.TUR (0.T) BAŞLANGIÇ ZAMANI OLDUĞU İÇİN HEM EGMÖ HEM DE EG ALTINDA ROBOTLARIN PİLLERİNİN TOPLAMDA 3.00 Joule ENERJİSİ VARDIR.

Tur	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T
EGMÖ	2.69	2.36	2.07	1.76	1.61	1.43	1.27	1.09	1.02	1.02
EG	2.65	2.31	2.00	1.69	1.53	1.35	1.18	1.00	0.92	0.92

2. Markov EH Süreci

Bu altbölümde, Markov EH sürecinde 5 robotlar -5 görevler durumu incelenmektedir. Robotların EH süreçleri birbirinden farklı Markov biçiminde oluşturulur.

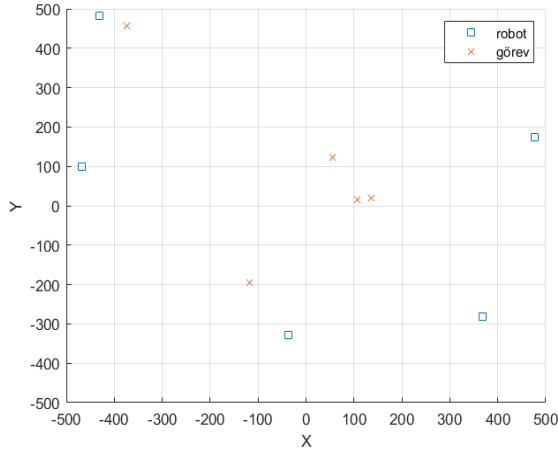
Şekil 5'te 1000 m × 1000 m alandaki 5 Markov EH robot düğümlerinin ve beş görevin konumlarını göstermektedir.

Şekil 5'te Markov EH süreçlerine sahip 5 robotun konumları şu şekildedir:

$$(\varepsilon_1(0), \varepsilon_2(0), \varepsilon_3(0), \varepsilon_4(0), \varepsilon_5(0)) = ((477, 175), (368, -282), (-468, 99), (-37, -329), (-431, 482)).$$

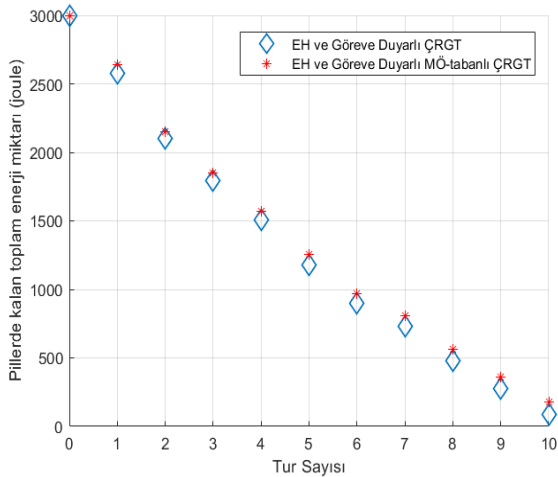
Şekil 5'te 5 görevin konumları şu şekildedir:

$$(\xi_1(1,1), \xi_2(2,1), \xi_3(3,1), \xi_4(4,1), \xi_5(5,1)) = ((-373, 457), (56, 123), (106, 16), (136, 20), (-117, -195)).$$



Şekil 5. 5 Markov EH robotların ve 5 görevlerin pozisyonları, sırası ile "kare" ve "çapraz" işaretçilerle gösterilmektedir.

Şekil 6, 5 Markov EH sürecindeki pillerde kalan enerji toplamını gösterir. 5 robot olduğundan, robotların pillerinde kalmış enerjinin toplamı en başta $5 \times 600 \text{ mJ} = 3000 \text{ mJ}$ 'tür.



Şekil 6. Markov EH süreçlerindeki tur sayısına karşı 5 Markov EH robotların bataryalarında kalmış enerjinin toplamı

Şekil 6'dan aşağıdaki gözlemler yapılabilir. 1., 2., 3. turlarda, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Görev farkında ÇRGT'ye kıyasla daha çok başarımlı göstermektedir (fazla enerjiyi depolayabilmektedir). 4. turunda, EH ve Görev farkında ÇRGT'dan %4.0 daha fazla başarımlı göstermeye başlamaktadır. Esasen 7. turda, EH ve Göreve Duyarlı MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Göreve Duyarlı ÇRGT'yle kıyaslandığında %10.67 görece fazla başarımlı göstermektedir. Son olarak, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, 10. turdaki EH ve Görev farkında ÇRGT'yle kıyaslandığında görece eniyi başarımlı (%80 fazla) göstermektedir.

Daha fazla ayrıntı için Tablo II incelenebilir.

TABLO II. BU TABLO, MARKOV EH SÜRECİNE SAHİP 6 ROBOTLU BİR ÇOKLU ROBOT SİSTEMİNDE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI ÇRGT POLİTİKASI İLE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI ÇRGT POLİTİKASI UYGULANDIĞINDA ROBOTLARIN PİLLERİNDE KALAN TOPLAM ENERJİ MİKTARININ (KILOJoule) TUR SAYISINA GÖRE DEĞİŞİMİNİ GÖSTERİR (EGMÖ, EH VE GÖREV FARKINDA MÖ-TABANLI ÇRGT'Yİ GÖSTERİRKEN EG, EH VE GÖREV FARKINDA ÇRGT'Yİ GÖSTERMEKTEDİR.) 0.TUR (0.T) BAŞLANGIÇ ZAMANI OLDUĞU İÇİN HEM EGMÖ HEM DE EG ALTINDA ROBOTLARIN PİLLERİNİN TOPLAMDA 3.00 Joule ENERJİSİ VARDIR.

Tur	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T
EGMÖ	2.64	2.15	1.85	1.57	1.26	0.97	0.81	0.56	0.36	0.18
EG	2.58	2.10	1.79	1.51	1.18	0.90	0.73	0.48	0.27	0.08

B. 10 robotlu durum

Bu altkısımda 10-robotlu senaryoda öncelikle robotların enerji hasatlama süreçleri bağımsız ve özdeş dağıtılmış (B.Ö.D.) EH Sürecine göre düşünülerek çoklu robot görev tahsisi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. Daha sonra robotların enerji hasatlama süreçleri Markov EH Sürecine göre düşünülerek çoklu robot görev tahsisi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır.

1. Bağımsız ve Özdeş Dağıtılmış (B.Ö.D.) EH Süreci

Bu altbölümde, B.Ö.D. EH sürecindeki 10 robotlar -10 görevlerin durumu incelenmektedir. Robotların EH süreçleri birbirinden farklı B.Ö.D şeklinde oluşturulur.

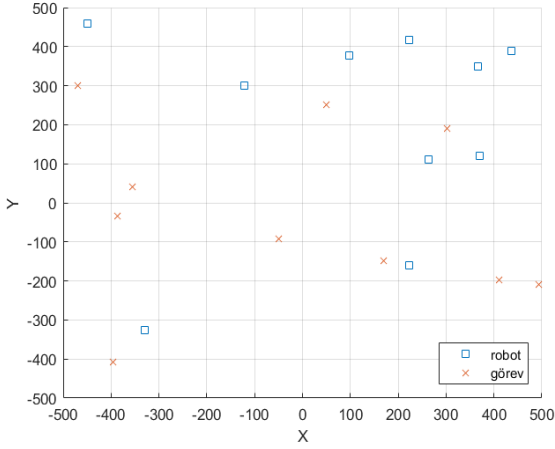
Şekil 7, $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ alandaki 10 B.Ö.D. EH robotları ve 10 görevin konumlarını göstermektedir.

Şekil 7'te 10 B.Ö.D. EH robot düğümlerinin konumları şu şekildedir:

$$(\varepsilon_1(0), \varepsilon_2(0), \varepsilon_3(0), \varepsilon_4(0), \varepsilon_5(0), \varepsilon_6(0), \varepsilon_7(0), \varepsilon_8(0), \varepsilon_9(0), \varepsilon_{10}(0)) = ((367, 350), (263, 111), (436, 388), (223, 418), (-121, 300), (222, -161), (98, 378), (-449, 460), (-329, -326), (370, 121)).$$

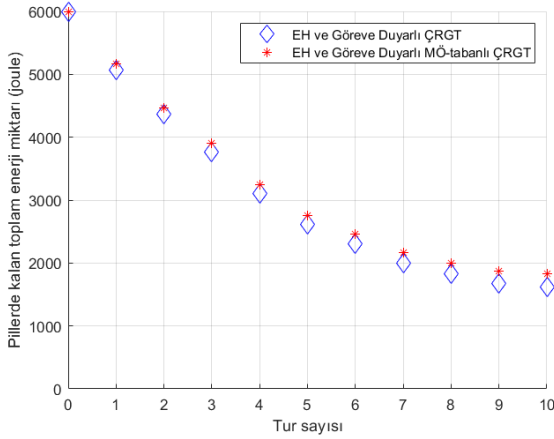
Şekil 7'te 10 görevlerin konumları şu şekildedir:

$$(\xi_1(1,1), \xi_2(2,1), \xi_3(3,1), \xi_4(4,1), \xi_5(5,1), \xi_6(6,1), \xi_7(7,1), \xi_8(8,1), \xi_9(9,1), \xi_{10}(10,1)) = ((-469, 300), (-386, -35), (-355, -\$40), (-49, -93), (49, 251), (302, 190), (493, -208), (411, -198), (170, -149), (-396, -407)).$$



Şekil 7. 10 B.Ö.D. EH robot düğümleri ve 10 görevin pozisyonları, sırası ile "kare" ve "çapraz" işaretçilerle gösterilmektedir.

Şekil 8, 10 B.Ö.D.'nin pillerinde kalan toplam enerjiyi göstermektedir. B.Ö.D. EH süreçleri. 10 robot olduğundan, robotların pillerinde kalmış enerjinin toplamı en başta $10 \times 600 \text{ mJ} = 6000 \text{ mJ}$ 'tür.



Şekil 8. B.Ö.D. EH süreçlerindeki tur sayısına karşı 10 B.Ö.D. EH robotlarının bataryalarında kalmış enerjinin toplamı

Şekil 8'den aşağıdaki gözlemler yapılabilir. İlk üç turda, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Görev farkında ÇRGT'ye kıyasla iyi başarımla göstermektedir (%3.5 fazla enerjiyi depolamaktadır). 4. turunda, EH ve Görev farkında ÇRGT'den %5 iyi performans göstermeye başlar. Esasen 7. turunda, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Görev farkında ÇRGT'yle kıyaslandığında %8.7 daha fazla görelî performansını gösterir. Son olarak, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı MRTA, 10. turda EH ve Görev farkında MRTA'yla kıyaslandığında görece eniyî başarımlarını (%12.6 fazla) göstermektedir.

Daha fazla ayrıntı için Tablo III incelenebilir.

TABLO III. BU TABLO, BAĞIMSIZ VE ÖZDEŞ DAĞITILMIŞ (B.Ö.D.) EH SÜRECİNE SAHİP 11 ROBOTLU BİR ÇOKLU ROBOT SİSTEMİNDE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENME TABANLI ÇRGT POLİTİKASI İLE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENME TABANLI ÇRGT POLİTİKASI UYGULANDIĞINDA ROBOTLARIN PİLLERİNDE KALAN TOPLAM ENERJİ MİKTARININ (KİLOJULE) TUR SAYISINA GÖRE DEĞİŞİMİNİ GÖSTERİR (EGMÖ, EH VE GÖREV FARKINDA MÖ-TABANLI ÇRGT'Yİ GÖSTERİRKEN EG, EH VE GÖREV FARKINDA ÇRGT'Yİ GÖSTERMEKTEDİR.) BAŞLANGIÇ ZAMANI OLDUĞU İÇİN HEM EGMÖ HEM DE EG ALTINDA ROBOTLARIN PİLLERİNİN TOPLAMDA 6.00 JOULE ENERJİSİ VARDIR.

Tur	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T
EGMÖ	5.16	4.47	3.90	3.25	2.75	2.46	2.17	2.00	1.87	1.82
EG	5.07	4.37	3.77	3.10	2.62	2.31	1.99	1.83	1.68	1.62

2. Markov EH Süreci

Bu altbölümde, Markov EH sürecinde 5 robotlar -5 görevler durumu incelenmektedir. Robotların EH süreçleri birbirinden farklı Markov biçiminde oluşturulmaktadır.

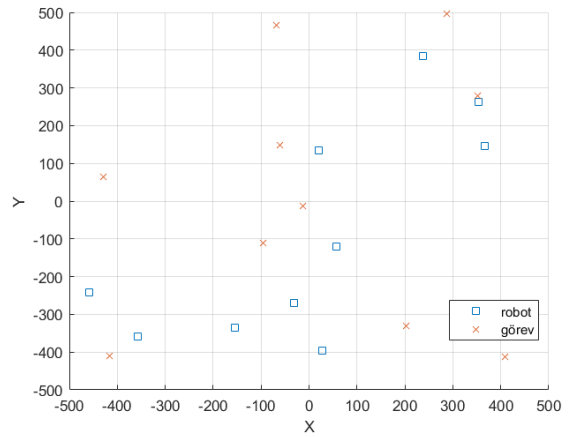
Şekil 9'da $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ alandaki 10 B.Ö.D. EH robot düğümleri ve 10 görevin konumlarını göstermektedir.

Şekil 9'da 10 Markov EH robot düğümlerinin konumları şu şekildedir:

$$(\varepsilon_1(0), \varepsilon_2(0), \varepsilon_3(0), \varepsilon_4(0), \varepsilon_5(0), \varepsilon_6(0), \varepsilon_7(0), \varepsilon_8(0), \varepsilon_9(0), \varepsilon_{10}(0)) = ((-31, -271), (366, 147), (21, 134), (-155, -336), (-358, -358), (-459, -241), (57, -120), (28, -395), (238, 385), (354, 263))$$

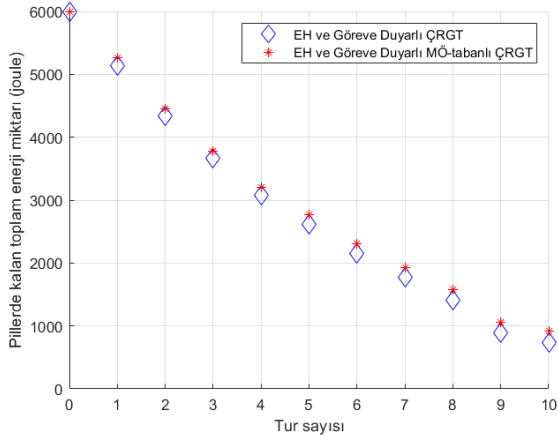
Şekil 9'da 10 görevin konumları şu şekildedir:

$$(\xi_1(1,1), \xi_2(2,1), \xi_3(3,1), \xi_4(4,1), \xi_5(5,1), \xi_6(6,1), \xi_7(7,1), \xi_8(8,1), \xi_9(9,1), \xi_{10}(10,1)) = ((-429, 65), (-60, 149), (-69, 465), (287, 496), (351, 280), (409, -412), (202, -331), (-13, -14), (-96, -111), (-417, -411))$$



Şekil 9. 10 Markov EH robotlar ve 10 görevlerin pozisyonları, sırası ile "kare" ve "çapraz" işaretçilerle gösterilmektedir.

Şekil 10, 10 Markov EH sürecinde pillerde kalan toplam enerjiyi gösterir. 10 robot olduğundan, robotların pillerinde kalmış enerjinin toplamı en başta $10 \times 600 \text{ mJ} = 6000 \text{ mJ}$ 'tür.



Şekil 10. Markov EH süreçlerinde tur sayısına karşı 10 Markov EH robotlarının bataryalarında kalmış enerjinin toplamı

Şekil 10'dan aşağıdaki gözlemler yapılabilir. 1., 2., 3. turlarda, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Görev farkında ÇRGT'ye kıyasla daha iyi başarımlar gösterir (daha çok enerjiyi depolayabilmektedir). 4. turda, EH ve Görev farkında olan ÇRGT'dan %4.2 daha fazla başarımlar gösterir. 7. turunda, EH ve Göreve Duyarlı MÖ-tabanlı ÇRGT, EH ve Göreve Duyarlı ÇRGT'yle kıyaslandığında %8.7 daha fazla görece performansını gösterir. Son olarak, EH ve Görev farkında MÖ-tabanlı ÇRGT, 10. turda EH ve Görev farkında ÇRGT'yle kıyaslandığında görece eniyi başarımlarını (%26.7 fazla) göstermektedir.

Daha fazla ayrıntı için Tablo IV incelenebilir.

TABLO IV. BU TABLO, MARKOV EH SÜRECİNE SAHİP 11 ROBOTLU BİR ÇOKLU ROBOT SİSTEMİNDE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENME TABANLI ÇRGT POLİTİKASI İLE EH VE GÖREV FARKINDA MAKİNE ÖĞRENME TABANLI ÇRGT POLİTİKASI UYGULANDIĞINDA ROBOTLARIN PİLLERİNDE KALAN TOPLAM ENERJİ MİKTARININ (KİLOJULE) TUR SAYISINA GÖRE DEĞİŞİMİNİ GÖSTERİR (EGMÖ, EH VE GÖREV FARKINDA MÖ-TABANLI ÇRGT'Yİ GÖSTERİRKEN EG, EH VE GÖREV FARKINDA ÇRGT'Yİ GÖSTERMEKTEDİR.) BAŞLANGIÇ ZAMANI OLDUĞU İÇİN HEM EGMÖ HEM DE EG ALTINDA ROBOTLARIN PİLLERİNİN TOPLAMDA 6.00 JOULE ENERJİSİ VARDIR.

Tur	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T
EGMÖ	5.26	4.45	3.78	3.20	2.76	2.30	1.92	1.57	1.06	0.92
EG	5.14	4.34	3.66	3.07	2.62	2.15	1.77	1.40	0.89	0.73

VI. SONUÇLAR VE SONRAKİ ARAŞTIRMA ÖNERİLERİ

Geçmiş zamanda, tarımda işçiler yabancı otları tohumları ekmeden evvel doğrudan tespit etmekteydi. Gelişen tarım teknolojisiyle beraber insan emeği bugünkü tarımda ise oldukça azdır. Çiftçiler başka tarlalara taşınması gıda üretimini zarara uğratmıştır. Uzmanlar, nüfus arttıkça, arazi küçüldükçe ve doğal kaynakların azalmasıyla kendisine yeterli akıllı tarıma daha çok odaklanmaktadır; bu amaçla çözümler üzerine çalışmaktadır.

Bu makalede tarım uygulamalarında çoklu robot görev tahsisi (ÇRGT) problemi incelenmektedir. Herbir turda, kümebaşı olmayan diğer robotların herbiri bir görevi tamamlamaktadır. Bu robotlara görevleri tahsisi yöntemi, enerjiyi ve mesafeyi eraber gözönünde bulundurur. Bu da birbir eşleşen gönderim problemidir. Makalemizde, farklı enerji hasatlama süreçlerini ve robot sayılarını gözönünde bulundurularak makine öğrenmesi tabanlı yeni bir ÇRGT yaklaşımını önerilir ve başarımlarını incelenir. Bu yaklaşımın önceki yaklaşıma görece iyi bir başarımlar sergilediği görülmektedir. Bu yeni önerilen ÇRGT algoritması, ilk turlarda önceki ÇRGT algoritmasına göre yaklaşık %2 fazla enerjinin pil kalmasını (tasarrufunu) sağlarken özellikle son turlarda önceki ÇRGT algoritmasına göre enerji tasarrufu enerji hasatlama süreci ve robot senaryosunun büyüklüğüne bağlı olarak %100'ü aşabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]P. Samuel S., K. Malarvizhi, S. Karthik and M. Gowri S.G., "Machine Learning and Internet of Things based Smart Agriculture," 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, 2020, pp. 1101-1106.
- [2]Baek, E.T.; Im, D.Y. ROS-Based Unmanned Mobile Robot Platform for Agriculture. Appl. Sci. 2022, 12, 4335.
- [3]Devanna, R.P.; Milella, A.; Marani, R.; Garofalo, S.P.; Vivaldi, G.A.; Pascuzzi, S.; Reina, G. In-field automatic identification of pomegranates using a farmer robot. Sensors 2022, 22, 5821.
- [4]Yoshida, T.; Onishi, Y.; Kawahara, T.; Fukao, T. Automated harvesting by a dual-arm fruit harvesting robot. ROBOMECH J. 2022, 9, 19.
- [5]Moraitis, M.; Vaiopoulos, K.; Balafoutis, A.T. Design and Implementation of an Urban Farming Robot. Micromachines 2022, 13, 250.
- [6]Chong, C.-Y.; Kumar, S.P. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. Proc. IEEE 2003, 91, 1247-1256.
- [7]Akyildiz, I.F.; Su, W.; Sankarasubramanian, Y.; Cayirci, E. A survey on sensor networks. IEEE Commun. Mag. 2002, 40, 102-114.
- [8]Lukic, M.; Barnawi, A.; Stojmenovic, I. Robot Coordination for Energy-Balanced Matching and Sequence Dispatch of Robots to Events. IEEE Trans. Comput. 2015, 64, 1416-1428.
- [9]Gautam, A.; Thakur, A.; Dhanania, G.; Mohan, S. A distributed algorithm for balanced multi-robot task allocation. In Proceedings of the 2016 11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), Roorkee, India, 3-4 December 2016; pp. 622-627.
- [10]Shue, S.; Conrad, J. A Survey of Robotic Applications in Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the IEEE Southeastcon 2013, Jacksonville, FL, USA, 4-7 April 2013; pp. 1-5.
- [11]Ryu, J.H.; Irfan, M.; Reyaz, A. A review on sensor network issues and robotics. J. Sens. 2015, 2015, 1-14.
- [12]Ghosh, P.; Gasparri, A.; Jin, J.; Krishnamachari, B. Robotic wireless sensor networks. In Mission-Oriented Sensor Networks

- and Systems: Art and Science. Studies in Systems, Decision and Control; Springer: Cham, Switzerland, 2019; Volume 164.
- [13] Dasgupta, P. Multi-robot task allocation for performing cooperative foraging tasks in an initially unknown environment. In *Innovations in Defence Support Systems-2: Socio-Technical Systems*; Jain, L.C., Aidman, E.V., Abeynayake, C., Eds.; Springer: Berlin, Germany, 2011; pp. 5–20.
- [14] Lim, S.; Rus, D. Stochastic motion planning with path constraints and application to optimal agent, resource, and route planning. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Saint Paul, MN, USA, 14–18 May 2012; pp. 4814–4821.
- [15] Jones, E.G.; Dias, M.B.; Stentz, A. Time-extended multi-robot coordination for domains with intra-path constraints. *Auton. Robot.* 2011, 30, 41–56.
- [16] Lenagh, W.; Dasgupta, P.; Munoz-Melendez, A. A spatial queuing based algorithm for multi-robot task allocation. *Robotics* 2015, 4, 316–340.
- [17] Gerkey, B.P.; Mataric, M.J. A formal analysis and taxonomy of task allocation in multi-robot systems. *Int. J. Robot. Res.* 2004, 23, 939–954.
- [18] Hojda, M. Task allocation in robot systems with multi-modal capabilities. *IFAC-PapersOnLine* 2015, 48, 2109–2114.
- [19] Patil, D.D., Singh, A.K., Shrivastava, A., Bairagi, D. (2023). IOT Sensor-Based Smart Agriculture Using Agro-robot. In: Sindhvani, N., Anand, R., Niranjnamurthy, M., Chander Verma, D., Valentina, E.B. (eds) *IoT Based Smart Applications*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04524-0_20
- [20] Kuhn, H.W. The hungarian method for the assignment problem. *Nav. Res. Logist. Q.* 1955, 2, 83–97.
- [21] Trigui, S.; Koubaab, A.; Cheikhrouhou, O.; Yousseff, H.; Bennaceurg, H.; Sritig, M.F.; Javed, Y. A Distributed Market-Based Algorithm for the Multi-Robot Assignment Problem. *Procedia Comput. Sci.* 2014, 32, 1108–1114.
- [22] Lukic, M.; Stojmenovic, I. Energy-balanced matching and sequence dispatch of robots to events: Pairwise exchanges and sensor assisted robot coordination. In *Proceedings of the 10th IEEE 10th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems*, Hangzhou, China, 14–16 October 2013; pp. 249–253.
- [23] Luo, L.; Chakraborty, N.; Sycara, K. Provably-Good Distributed Algorithm for Constrained Multi-Robot Task Assignment for Grouped Tasks. *IEEE Trans. Robot.* 2015, 31, 19–30.
- [24] Martin, J.G.; Frejo, J.R.D.; García, R.A.; Camacho, E.F. Multi-robot task allocation problem with multiple nonlinear criteria using branch and bound and genetic algorithms. *Intel. Serv. Robot.* 2021, 14, 707–727.
- [25] Shin, H.S.; Li, T.; Lee, H.I.; Tsourdos, A. Sample greedy based task allocation for multiple robot systems. *Swarm Intell.* 2022, 16, 233–260.
- [26] Ashraf, N.; Faizan, M.; Asif, W.; Qureshi, H.K.; Iqbal, A.; Lestas, M. Energy management in harvesting enabled sensing nodes: Prediction and control. *J. Netw. Comput. Appl.* 2019, 132, 104–117.
- [27] Watkins, C.J.C.H., Dayan, P. Q-learning. *Mach Learn* 8, 279–292 (1992). <https://doi.org/10.1007/BF00992698>
- [28] Gul OM. Energy Harvesting and Task-Aware Multi-Robot Task Allocation in Robotic Wireless Sensor Networks. *Sensors*. 2023; 23(6):3284.
- [29] Gul OM. Akıllı Tarım Uygulamalarında Robotik Kablosuz Sensör Ağlarında Çoklu Robot Görev Tahsisi. *TOK* 2023; syf. 348-352.

Özgeçmiş



Ömer Melih Gül (S'17, M'21), Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla 2012, 2014 ve 2020 yıllarında aldı. Bu esnada aynı bölümde araştırma görevlisi olarak da görev yaptı. Uluslararası yayınları 11 dergi makalesi, 16 konferans bildirisi ve 4 kitap bölümünü kapsarken ulusal yayınları 3 dergi makalesi ve 3 konferans bildirisini kapsamaktadır.

IEEE Computer Society tarafından 2019 Lance Stafford Larson Üstün Öğrenci Makale Ödülü'nde (2019 Lance Stafford Larson Outstanding Student Paper Award) üçüncülük ödülüne layık görülmüştür. 2021 IEEE Rising Stars Global Konferansı'nda poster yarışmasında üçüncülük ödülüne layık görülmüştür. 2022 yılında Kanada'da Ottawa Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Okulu'nda doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2022 yılında 48. Kablosuz Dünya Araştırma Forumu'nda (WWRF) en iyi konferans bildirisi ödülünü aldı. Mevcut durumda, İstanbul'da Bahçeşehir Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır.

2021'den bu yana IEEE Computer Society'de Region 8 (Avrupa, Orta Doğu ve Afrika Bölgesi) Koordinatörü olarak görev yapmaktadır. Nisan 2023'ten beri IEEE Computer Society Member&Geographic Activities (MGA) Board'da Özel Üye (Member-at-Large) olarak görev yapmaktadır. 2022 IEEE MGA Genç Profesyoneller Başarı Ödülü'ne (2022 IEEE MGA Young Professionals Achievement Award) layık görülmüştür. 2020-2021 yıllarında başkanlığını yaptığı IEEE Türkiye Genç Profesyonel Grup ile 2021 IEEE Region 8 Outstanding Young Professionals Affinity Group Award ve 2022 IEEE MGA Young Professionals Hall of Fame Honorable Mention ödülleri kazanmıştır.