



Bilişsel Radyo ile Etkin Taşıtsal Ağlarda En İyiye Yakın Veri Hacmi Edimi

Ömer Melih Gül^{1*}

^{1*} Orta Doğu Teknik Üniversitesi (KKK), Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin10, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0673-7877), gomermel@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 29 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1126550)

ATIF/REFERENCE: Gül, Ö. M. (2022). Bilişsel Radyo ile Etkin Taşıtsal Ağlarda En İyiye Yakın Veri Hacmi Edimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 73-78.

Öz

Bir çokkanallı ikincil kullanıcı (İK) ve çok sayıda birincil kullanıcılardan oluşan bir bilişsel radyo etkinleşmiş araçsal ağ incelenmektedir. Veriyi gönderim amacıyla her birincil kullanıcı için tahsis edilmiş bir kanal vardır. İK'nın verisi birikmiş ve iletişim amacıyla kanallar seçmektedir. Kanalların durumları ve evrimlerinin istatistikleriyle ilgili hiçbir bilgiye sahip değildir. İK seçtiği her haberleşme kanalını onunla verisini iletip iletmeyeceğine karar verme amacıyla algılamaktadır. Bu kanal durumunu algılama için 1 zaman dilimi harcadığı kabul edilmiştir. Eğer İK o zaman diliminde iyi durumda bir kanalı seçerse, o kanal üzerinden ikincil alıcıya paket iletir. Eğer o zaman diliminde kötü kanal seçerse o kanal üzerinden veri paketi göndermez ve başka bir kanalı seçmek için sonraki zaman dilimini bekler. Ortalama verihacmi kriterleri gözetilerek, uygulanan politikanın genel kanal evrim süreçleri için eniyiye yakın olduğu belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak tahsisi, fırsatçı spektrum erişimi, kablosuz ağlar, bilişsel radyo.

Near-Optimal Throughput Performance in Cognitive Radio Driven Vehicular Networks

Abstract

A cognitive radio driven vehicular network with a multichannel secondary user (SU) and many primary users is considered. A channel is allocated to each primary user for data transmission. SU is data backlogged and selects channels for transmission. SU knows neither channel states nor statistics of channel evolution processes. SU senses each of its selected communications channels to decide whether to use it for data transmission or not. It is assumed that sensing the channel takes 1 time slot. If SU senses that a good-state selected channel is in good state, it sends data over that channel at that time. Otherwise, SU do not use that channel and make another selection next time. Considering average throughput criteria, it is stated that the applied policy is near-optimal for general channel evolution processes.

Keywords: Resource allocation, opportunistic spectrum access, wireless network, cognitive radio.

* Sorumlu Yazar: gomermel@metu.edu.tr

1. Giriş

Bu kısımda ilk önce bu çalışmada ele alınan problemin güdülenmesi ve amacı ilgili literatür ile verilmektedir. Daha sonra bu çalışmanın literature katkıları verilmektedir. Son olarak da bu çalışmanın teşkili belirtilmiştir.

1.1. Güdülenme ve İlgili Literatür

Kablosuz araçlar ile uygulamalar son yıllarda çok hızlı yayılmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda kablosuz radyo spektrumu için ihtiyaç daha fazla hissedilmektedir. Bu ihtiyaç, son yıllarda ortaya çıkan Nesnelere İnterneti ve 5. Nesil Haberleşme gibi teknolojiler ile daha fazla artmaktadır. Ama lisanslı spektrumun büyük bölümü, var olan spektrum kullanma politikalarının yüzünden oldukça az kullanılır (Reed ve diğerleri, 2005) Bilişsel radio (Mitola ve diğerleri, 1999), spektrumun verimli kullanılmasını problemi çözmeye hususunda ümit verici teknolojiler paradiğmaların en önde gelenlerindedir. Bir bilişsel radyo ağında (BRA), bir ikincil kullanıcı (İK), bir birincil kullanıcıya (BK) temin edilmiş kablosuz spektrumunu yalnız BK'nın kullanmadığını anladığı anlarda kullanabilmektedir. İK'nın spektrumu böyle kullanabilmesi, fırsatçı spektrum erişim (FSE) şeklinde isimlendirilir (Haykin, 2005).

Eldeki bildiriye M birincil kullanıcılar (BK), M birincil alıcılar, K kanallı bir ikincil kullanıcı (İK) ve K tane ikincil alıcılardan oluşan bilişsel telsiz ağlarında (BTA) meydana gelen bir fırsatçı spektrum erişim (FSE) problemi incelenmektedir. Her anda, İK verinin gönderimi amacıyla M kanallardan K tanesi seçilmektedir. İK bir kanalla verisini gönderim amacıyla kullanıp kullanamayacağına göre karar vermek için algılar. O zamanda İK tarafından kanallardan iyi biri seçilirse, o kanalla ikincil alıcıya paketini gönderir. O zamanda dolu (İK'nın iletimine uygun olmayan) kanallardan biri seçilirse onun ile veri paketi gönderilmez; diğer kanalları seçilmesi için sonraki zaman dilimi beklenir. İK kanalların durumlarına ya da onların evrimlerinin süreçleri hakkında hiçbir bilgiye sahip değildir. İK, ortalama verimliliğini eniyilemeyi hedeflemektedir.

Eldeki bildiri, verigeliş sürecini Markov ile sınırlanmamıştır. Diğer yandan, verigeliş süreçlerini Markov şeklinde modellersek eldeki problem kısmi gözlenebilir Markov karar süreci (KGMKS) şeklinde modellenir. Buradaki şartlarda, takviyeli öğrenme (Watkins, 1989) veya dinamik programlama (DP) (Bellman, 1957) en iyi çözüm olarak uygulanması düşünülebilir. Ama DP ve takviyeli öğrenme, KGMKS'de durum uzayına göre üstel karmaşıklığa sahip olması ölçeklenebilirliği sınırlanmamaktadır.

Pratik bakımdan geniş ölçekte bilişsel radyo ağlarında, eniyiye yaklaşık az karmaşıklığa sahip buluşsal çözümlerin büyük karmaşıklıkta en iyiyi yakalayan çözümlere nazaran daha önemli olarak görülebilir (Alsheikh ve diğerleri., 2015). Bu problem, (Whittle 1988) çalışmasında önerilen huzursuz çok kollu haydut problem olarak da modellenir. Problemin geneline en iyi çözüm PSPACE-zorluğa (Papadimitriou ve diğerleri, 1999) sahip olduğundan sadece çözüm amacıyla açgözlü politika (AP) benzer problemler için önerildi. Birçok makalede (Mansourifard ve diğerleri 2012, Quyang ve diğerleri. 2014, Wang ve diğerleri 2015, Villar 2016, Wang ve diğerleri Şubat 2016, Wang ve diğerleri Mayıs 2016, Gul. Mart 2019 ve Gul. Haziran 2021, 2.) BTA problemi çalışılmış ve özel koşullarda

AP eniyi çözüm olarak önerilmiştir. Ama AP, genelde standardın altındadır (Hero ve diğerleri., 2007, Johnston ve diğerleri 2013, Johnston ve diğerleri 2017, Wang ve diğerleri 2018, Gul ve Demirekler. 2017, Gul. Mart 2019 ve Gul. Haziran 2021, 2.).

1.2. Ana Katkılar

Bu çalışmanın ilgili literature ana katkıları şu şekildedir:

- Bu çalışmada haberleşme kanallarında blok gölgeleme düşünülerek FSE problemi incelenmiş ve çözüm için ilgili literatürde yaygın kullanılan algoritmalar uygulanmıştır.
- Eldeki probleme eniyi ve eniyiye yakın çevrimiçi yaklaşımlar uygulanmıştır. Verim performansı literatürdeki açgözlü politika ile karşılaştırılmıştır.
- Bu çalışmada eldeki problem blok gölgeleme modeli altında incelemiş ve probleme çözüm için farklı algoritmalar (DRSP ve AP) uygulanmış ve verimliliği performansları incelenmiştir. DRSP'nin eniyiye yakın verimi başarırken AP eniyi altı performans göstermiştir.

1.3. Teşkil

Makalenin kalanının kurgusu şu şekildedir. Bölüm 2 sistemin modelini vermektedir. Bölüm 3'te daha önce birçok çalışmada uygulanan DRSP algoritması eldeki probleme uygulamaktadır. Bölüm 4 uygulanan algoritmanın verimini ilgili literatürdeki algoritmaların verimleriyle beraber çeşitli gölgeleme modellerini kullanarak değerlendirir. Bölüm 5 makaleyi sonlandırır.

2. Sistem Modeli ve Problem Tanımı

2.1. Sistemin Modellemesi

M birincil alıcılar, M birincil kullanıcılar (BK), K tane ikincil alıcıdan K kanallı bir ikincil kullanıcı (İK) oluşan bilişsel radyo ağları (BRA) incelenmektedir. İncelenen haberleşme sisteminde her bir BK bir birincil alıcıya verisini göndermek amacıyla eşlenmiştir ve bu veri gönderimi için ona kanal tahsis edilmiştir. Çapraz kanal girişimi dikkate alınmayabilir; bu sayede haberleşme kanalları birbirine ortogonal biçimde ele alınabilir. Göndericilerin alıcılardan ayrı zamanlı biçimde haberleştiği düşünülmektedir. Her zaman diliminin başında, İK verilerini göndermek amacıyla M kanaldan K tanesini seçmektedir. İK bir kanalı verisini iletme kararı verme amacıyla birçok makalede (Mansourifard ve diğerleri. 2012, Quyang ve diğerleri. 2014, Wang ve diğerleri. 2015, Villar 2016, Wang ve diğerleri. Şubat 2016 ve Wang ve diğerleri Mayıs 2016) kabul edildiği üzere spektrumu mükemmel algılamaktadır ama bu şekilde algılama yapmak bir zaman dilimi sürmektedir. İK o zamanda seçtiği kanal boşsa (kanal iyi durumdaysa), onu kullanarak ikincil alıcıya paketini gönderir. Eğer o zamanda seçtiği kanal boş değilse (kanal kötü durumdaysa) onu kullanarak ikincil alıcıya paket göndermez ve sonra zamanda başka kanalları seçme amacıyla beklemektedir. Makalemizde İK'nın her zaman gönderecek verisi olduğu kabulü sahiptir ve 1 paketi gönderimi bir zaman dilimi sürer. $S = \{1, 2, \dots, M\}$, her kanalın endeksleri içeren kümedir. Ayrıca, $\pi(t)$,

t zamanında seçilmiş her kanalın endekslerini içeren kümedir; algoritma π ile değişmektedir.

Haberleşme sisteminde blok gölgelemenin gerçekleşmesi kabul edilmiştir. BK'ların birincil alıcılara verileri iletimi önceliği vardır. Bu nedenle, veri gönderimi amacıyla kanal kazancının yüksek (gölgelemenin az) olduğu zaman dilimlerini seçmektedirler. BK'lar verilerin gönderimi amacıyla zamanın seçme için gölgelemenin etkilediği kanalların kazançlarının üzerine eşik koymaktadır. Kanal kazanç katsayısının, eşik değerden yüksekse BK birincil alıcıya o kanalla verisini gönderir (İK için kötü durum). Kanal kazanç katsayısının, eşikten düşük olursa BK birincil alıcıya o kanal üzerinden verileri göndermez ve o kanalı boş bırakır (İK için kötü durum). İK bir kanalı seçerse ve onu uygun olarak algılar ise, bu kanalla verileri gönderir. Yoksa, İK o kanalla verileri göndermez.

$S_m(t)$, m . kanalın durumunun belirten fonksiyondur. Kanal m iyi durumdaysa $S_m(t) = 1$ 'dir. Yoksa, $S_m(t) = 0$. Alıcın kanalın durumu $T_{c,m}^x$ kadar süre boyunca muhafaza etmektedir; $T_{c,m}^x$, kanal m 'nın x . bağdaşım zamanıyken $T_{c,m}^x$ bu bağdaşım zamanının ilk zaman dilimini göstermektedir. m . kanalın bağdaşımın zamanını şu şekilde kısıtlanabilir.

$$T_{c,min}^x \leq T_{c,m}^x = t_m^{x+1} - t_m^x \leq T_{c,max}^x, \forall m$$

Burada $T_{c,max}^x$ ve $T_{c,min}^x$, bağdaşım zamanlarının T zaman ufukunda alabileceği en düşük ve en yüksek değerlerdir; bunlar da çevresel koşullara bağlıdır.

2.2. Problemin Tanımı

Bir FSE problemini tanımlamak için en yükseltilecek ödül tanımlanmalıdır. $V^\pi(t)$, İK'nın π algoritmasıyla t zamanına kadar iletilen paketlerin sayılarını gösterir.

$$V^\pi(T) = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M I_{\{m \in \pi(t)\}} I_{\{S_m(t)=1\}}$$

burada X gerçekleşirse $I_{\{X\}} = 1$ yoksa $I_{\{X\}} = 0$. Burada literatürde çalışmalarla uyumlu biçimde bu makalenin amacı, T dilimlik zaman ufukunda İK'nın başardığı verihacmini en yükseğe taşımaktır. Sonsuz veri birikimi kabulü ve bu nedenle problemin gecikmeye duyarsızlığı nedeniyle ortalama ödül kriteri haberleşme problemleri için indirimli ödüller kriterlerine kıyasla uyumlu bir ölçüt olmaktadır (Arapostathis ve diğerleri, 1993). Sonsuz veri birikimi kabulüyle, verihacmini en yükseltme problemi ortalama ödül (veri hacmi) kriteri baz alınarak sonlu bir zaman ufukunda (P1) ile sonsuz zaman ufukunda (P2) şu biçimde el alınır:

$$(P1) \quad \max_{\{\pi(t)\}_{t=1}^T} \frac{V^\pi(T)}{T}$$

$$(P2) \quad \max_{\{\pi(t)\}_{t=1}^T} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{V^\pi(T)}{T}$$

Aşağıda verilen tanımlar, çalışmanın kalan kısmında faydalı olacak.

Tanım 1: En iyi algoritma ile İK verihacmini en iyiye en yükseltir:

$$\pi^* = \operatorname{argmax}_{\{\pi(t)\}_{t=1}^T} \frac{V^\pi(T)}{T}$$

Tanım 2: π politikanın verimi, $\eta(\pi)$, bir zaman ufukunda bu algoritmanın verihacminin en iyi algoritmanın verihacmine oranıdır:

$$\eta(\pi) = \frac{V^\pi(T)}{V^{\pi^*}(T)}$$

Tanım 3: Yoğunluk, ρ , toplam spectrum boşluk sayısının MT 'ye oranıdır,

$$\rho = \frac{1}{M \cdot T} \sum_{m=1}^M H(t)$$

burada $H(t)$, t zamanında İK'nın iletimine müsait kanalların sayılarına oranıdır.

Açıklama 1: Bu makalede eldeki problem esasen sonlu bir zaman ufukunda (P1) olarak ele alınacak ve buna göre çözüm uygulanacaktır. Diğer yandan, uygulanan çözümün zaman ufukuna göre performansına bakarak sonsuz bir zaman ufukunda (P2) problemine de getireceği çözüm de kestirebilir.

3. Eniyiye Yakın Fırsatçı Spektrum Erişimi

(Gul ve Uysal-Bıyıkoglu, 2014, Gul, 2014, Gul, 2017, Gul ve Demirekler, 2018, ve Gul, Temmuz 2019) çalışmalarında enerji hasatlayan kablosuz ağlara (Gul, Aralık 2020, Gul, Haziran 2021, 1., ve Gul, Mayıs 2022) ve Şekil 1'de ifade edilen Algoritma 1. Düzgün Rastgele Sıralı Politika (DRSP), (Gul, Ekim 2021 ve Gul ve Kantarci, Ekim 2022) çalışmalarında farklı bilişsel radyo ağlarında FSE problemlerine için uygulanmıştır.

Algorithm 1 Düzgün Rastgele Sıralı Politika (DRSP)

```

1: Başlama:
2: 1) BK'lar ve birincil alıcılar arasındaki kanalları rastgele sırala ve bu sırayı hep koru. Bu sıraya göre aktivasyon vektörünü ilk  $K$  kanalla başlat  $\Pi = [1 \ 2 \ \dots \ K]$ .  $\Pi(j)$ ,  $\Pi$ 'nin  $j$ . elemanıdır.
3: 2) Sonraki diye bir pointer tanımla. Başlangıçta, Sonraki =  $K + 1$ .
4: Prosedür:
5: for  $t = 1$  to  $T$  do
6:   for  $j = 1$  to  $K$  do
7:     if  $S_{\Pi(j)}(t) = 1$  and  $S_{\Pi(j)}(t-1) = 1$  then
8:       İK kanal  $\Pi(j)$  üzerinden veri iletir.
9:     else
10:      if Sonraki  $\notin \pi^{DRSP}(t)$  then
11:         $\Pi(j) \leftarrow \text{Sonraki}$ ;
12:      else
13:        repeat
14:           $\text{Next} \leftarrow \text{mod}_M(\text{Sonraki} + 1)$ ;
15:           $\Pi(j) \leftarrow \text{Sonraki}$ ;
16:          until Sonraki  $\notin \pi^{DRSP}(t)$ 
17:        end if
18:         $\text{Sonraki} \leftarrow \text{mod}_M(\text{Sonraki} + 1)$ ;
19:      end if
20:    end for
21: end for

```

Şekil 1. Düzgün Rastgele Sıralı Politika (DRSP)

Şekil 2, DRSP kullanarak çizelgeleme yapan bir İK'nın çizelgeleme tablosunu göstermektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kanal 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kanal 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kanal 3					2	2								2	2	2				

Şekil 2. 2 kanallı ikincil kullanıcının (İK) 3 tane birincil kullanıcıya (BK) tahsis edilen 3 kanaldan 2sini DRSP

algoritması kullanarak seçtiği ilk 20 zaman dilimini gösteren bir örnek çizelgeleme tablosu. Burada İK ve bir ikincil alıcı i arasındaki kanal t zaman diliminde i numarası ile etiketlenir. Beyaz zaman dilimleri İK'nın veri iletimi için uygun dilimleri (spektrum boşlukları) gösterirken gri renkli dilimler İK'nın veri iletimi için uygun olmayan dilimleri gösterir. Burada seçilen kanalın durumunu algılamak için 1 zaman dilimi harcanır ve bu zaman dilimleri (kanalın durumu iyi de olsa kötü de olsa) kırmızı renkle gösterilir. Örneğin, 1. zaman diliminde 1. ve 2. kanalın durumunu algılar. Burada 1. ve 3. Kanalın bağdaşım zamanı 5 zaman dilimi iken 2. Kanalın bağdaşım zamanı 4 zaman dilimidir. DRSP eniye yakın performans sergiler.

Şekil 2'deki senaryoda $3 \times 20 = 60$ zaman diliminden oluşan bu senaryoda İK'nın iletimine uygun $20 + 12 + 10 = 42$ tane zaman dilimi vardır. Bu yüzden, Şekil 2'deki senaryoda yoğunluk $\rho = \frac{42}{60} = 0.7$ 'dir. Bu senaryoda birincil kullanıcıya tahsis edilen Kanal 2 ve Kanal 3'ün aynı anda uygun olmadığı 4 zaman dilimi vardır (6., 7., 8. ve 16. Zaman dilimleri). Bu durumda, kanal durumunu algılama için zaman dilimi harcamayan çevrimdışı en iyi algoritma ile İK 2. Kanalı üzerinden 16 paket gönderebilir. İK'nın 1. Kanal üzerinden 20 zaman diliminde 20 paket gönderebildiğini düşünürsek toplamda çevrimdışı en iyi algoritma ile İK, 20 zaman dilimi içerisinde 36 paket gönderebilir. DRSP ile ise İK 20 zaman dilimi içerisinde 27 paket iletebilir. Bu durumda DRSP'nin verimi, $\frac{27}{36} = 0.75$ tir.

Tabii çevrimiçi en iyi algoritmayı düşünürsek onun da her kanal durumunu algılama ve kanal değiştirme için 1 zaman dilimi harcaacağını göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, çevrimiçi en iyi algoritma ile İK 20 zaman diliminde $36 - 5 = 31$ paket iletebilmektedir. Bu durumda DRSP'nin verimi, $\frac{27}{31} = 0.85$ tir.

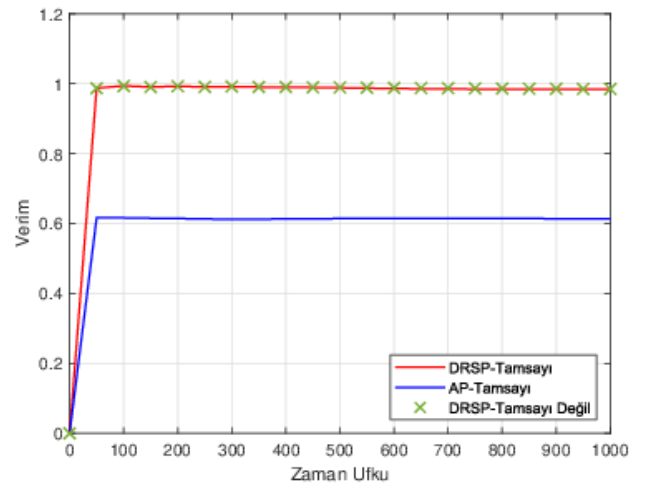
4. Sayısal Sonuçlar

Algoritmaların verimi $M = 20$ ve $K = 4$ kabul edilerek farklı zaman ufuklarında $0 \leq T \leq 1000$ değerlendirilecektir (Tanim 2'e göre $\eta(\pi^*) = 1$ bu nedenle en iyi algoritmanın performansı verim karşılaştırmalarında belirtmenin gereği yoktur. Öyleki, bir algoritmanın verimi, en iyi algoritmanın veri hacmi gözetilerek ortaya çıkan görece verihacmi performansdır). Her bir kanalda yavaş gölgelemenin meydana geldiği kabullenilmiştir (Rayleigh, Nakagami, Weibull, Rician gölgeleme modelleri en yaygın gölgeleme modelleri olduğundan burada da bu modeller kullanılmaktadır). O kanalın bağdaşım zaman süresince kanalın durumu korunmaktadır (Biglieri ve diğerleri, 2000). $50 \frac{m}{sec}$ hız, 2.4 GHz taşıyıcı frekans, $24 \frac{MB}{sec}$ veri iletim hızı, 120 Byte paketin boyutu şeklinde seçildiğinde bir haberleşme kanalının bağdaşım zamanı yaklaşık 110 zaman dilimi olacaktır (Rappaport, 2002). Bu nedenle, Monte Carlo simülasyonlarında $T_{c,max} = 120$ ve $T_{c,min} = 100$ TS alınmıştır.

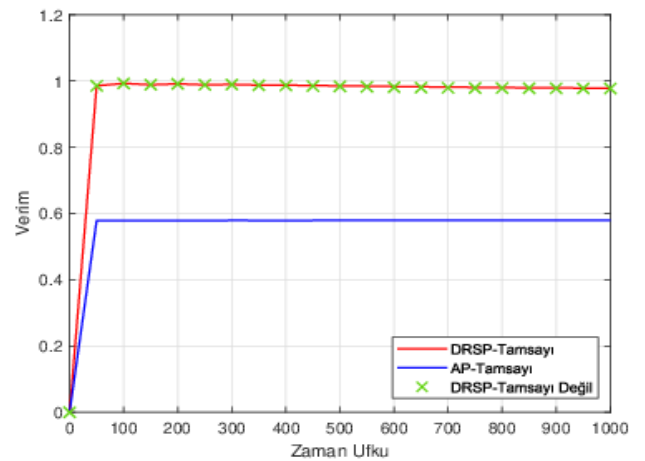
Şekil 3-6, Rician, Weibull, Rayleigh ve Nakagami gölgeleme modelleri altında iki algoritmanın (DRSP ve AP) da beklenen eşik değeri altında farklı zaman ufuklarına göre performanslarını göstermektedir.

Kanal kazancına bağlı olarak eşik değeri arttıkça iki algoritmanın verimi de artar çünkü artan eşik değerleri azalan sayıda uygun kanalın olduğunu kasteder. Bu yüzden, bu çalışmada eşik değeri olarak beklenen kanal kazancı düşünülerek seçilmiş ve buna göre benzetimler yapılmıştır. Beklenen kanal kazancı değeri kadar eşik değerinde belirli bir zaman sonra AP ve DRSP'nin verimleri nispeten durağan olduğu gözlemlenmektedir.

Rayleigh gölgeleme modeli altında Şekil 3'te DRSP 98.5% alırken AP'nin verimi 61.4% tir. $m = 1.5$ ile Nakagami gölgeleme modeli altında Şekil 4'te DRSP 97.9% alırken AP'nin verimi 57.8% tir. $k = 1.5$ ile Weibull gölgeleme modeli altında Şekil 5'te DRSP 98.4% alırken AP'nin verimi 61.1% tir. Rician gölgeleme modeli altında Şekil 3'te DRSP 97.8% alırken AP'nin verimi 57.2% tir.



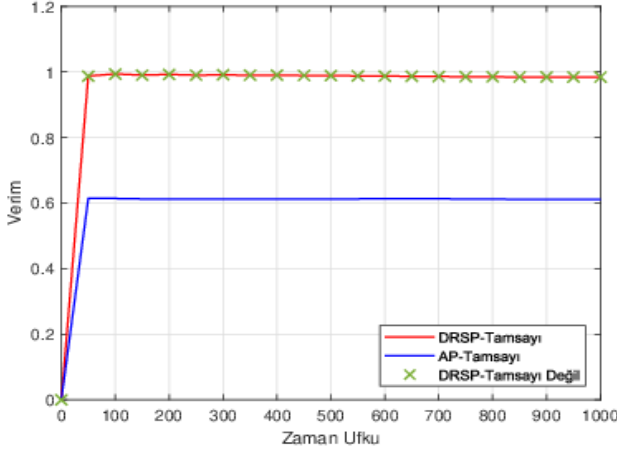
Şekil 3. Rayleigh gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufukuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.



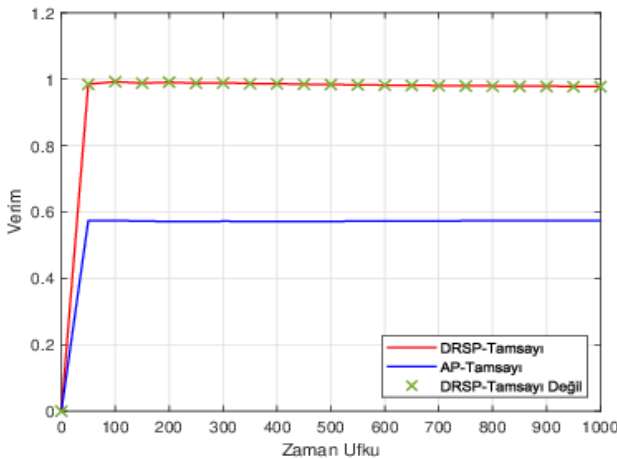
Şekil 4. $m = 1.5$ ile Nakagami gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufukuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.

Şekil 3-6'da DRSP'nin 1'e (eniyye) yakın verimi ile AP'nin yaklaşık 0.6 veriminde yaklaşık 60% fazla olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, DRSP'nin verimi bazı gölgeleme modelleri altında AP'nin verimine göre 70% fazla performansa bile ulaşabilmektedir.

Ayrıca, $M = 22$ ile $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olmadığı durumda da DRSP'nin verimini gözlemlenmiştir. Bu durumda da, DRSP'nin verimi 1.0'a yakınsamaktadır. Bu DRSP'nin $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olmadığı durumunda bile eniyye yakın performansı başardığını göstermektedir.



Şekil 5. $k = 1.5$ ile Weibull gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufkuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.



Şekil 6. Rician gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufkuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.

Şekil 3-6'ı göz önünde bulundurularak, iki ek husus açıklanabilir. İlk olarak, DRSP $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olmadığı durumunda $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olduğu durumundakiyle aynı performansı göstermektedir. İkinci olarak, Şekil 3 ve Şekil 6'daki algoritmaların verimleri, Şekil 4 ve Şekil 5'e göre farklı

biçimde eşik değerine göre değişmektedir. Çünkü, Rayleigh ve Rician gölgelemeler için olasılık dağılımları $k = 1.5$ ile Weibull ve $m = 1.5$ ile Nakagami gölgelemeye göre farklıdır. Bu durumda, tüm gölgeleme modellerinin aynı eşik değeri için kıyaslama yaptığımızda bu iki gölgeleme modelinde uygun kanalların sayısını farklılaştırmaktadır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, birincil kullanıcılar, bir tane ikincil kullanıcı, birincil ve ikincil alıcılarının biraraya geldiği bir bilişsel radyo ağında meydana gelen gölgelenen kanallar kullanılarak yapılan bir fırsatçı iletişim problemini ve ona uygulanan çözümler incelenmektedir. İK kanalların durumları ya da evrimlerinin süreçleri hakkında hiçbir bilgiye sahip değildir. İK kanallardan bazılarını algılama amacıyla seçip alıcılara onlar üzerinden verileri gönderip göndermemeye karar vermektedir; bunun için de 1 zaman dilimi harcamaktadır. Eğer kanal durumu iyiye iletim için 1 zaman harcamaktadır. Çözüm için farklı algoritmalar (DRSP ve AP) uygulanmış ve verihacmi performansları incelenmiştir. DRSP'nin eniyye yakın verimi başarırken AP eniyye altı (yaklaşık olarak eniyyenin yarısı kadar) performans göstermiştir. Gelecek çalışmalarda farklı gölgeleme modelleri uygulanabilir. Bunun yanında daha farklı kanal modelleri de uygulanabilir.

References

- Alsheikh, M. A., Hoang, D. T., Niyato, D., Tan, H., Lin, S. (2015). Markov Decision Processes With Applications in Wireless Sensor Networks: A Survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials vol 17, no. 3, 1239-1267.
- Arapostathis, A., Borkar, V. S., Fernandez-gaucherand, E., Ghosh, M. K., and Marcus, S. I. (1993). Discrete-time controlled Markov processes with average cost criterion: A survey," SIAM J. Control Optim., vol. 31, no. 2, 282-344.
- Bellman, R. E. (1957). Dynamic Programming. Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press.
- Biglieri, E., Caire, G., Taricco, G. (2000). Coding for the fading channel: a survey", Elsevier Signal Processing, vol. 80, 1135-1148.
- Gul, O.M. (2014). A low-complexity, near-optimal scheduling policy for solving a restless multi-armed bandit problem occurring in a single-hop wireless network, MSc Thesis.
- Gul, O.M. and Uysal-Biyikoglu, E. (2014). A Randomized Scheduling Algorithm for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks Achieving Nearly 100% Throughput", IEEE Wireless Communication & Networking Conference (IEEE WCNC 2014), 6-9 April 2014, Istanbul, Turkey.
- Gul, O. M., Demirekler, M. (2017). Average Throughput Performance of Myopic Policy in Energy Harvesting Wireless Sensor Network. Sensors, vol. 17, no. 10:2206.
- Gul, O. M., Erkmén, M. A. (2016). Achieving asymptotically optimal throughput in centralized mobile robot networks without dispatching feedback. 28th European Conference on Operational Research (EURO 2016), July 3-6, 2016, Poznan, Poland.
- Gul, O. M. (2017). Asymptotically Optimal Scheduling for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. 28th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (IEEE PIMRC 2017), Montreal, QC, Canada, 1-7.

- Gul, O. M., Demirekler, M. (2018). Asymptotically Throughput Optimal Scheduling Policy for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. *IEEE Access*, vol. 6, pp. 45004-45020.
- Gul O. M. (Temmuz 2019). Achieving Near-Optimal Fairness in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", 24th Annual IEEE International Symposium on Computers and Communications (IEEE ISCC 2019), Barcelona, Spain, 1-6.
- Gul, O. M. (Mart 2019). Average Throughput of Myopic Policy for Opportunistic Access over Block Fading Channels. *IEEE Networking Letters*, vol.1, no. 1, 38-41.
- Gul, O. M. (Aralık 2020). Near-Optimal Data Communication Between Unmanned Aerial and Ground Vehicles. *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA) 2020*, 1-4.
- Gul, O. M. (Haziran 2021, 1.). Fair Data Collection in Wireless Networks. *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları (SIU) 2021*, 1-4.
- Gul, O. M. (Haziran 2021, 2.). Average Throughput Performance of Greedy Policy in Cognitive Radio Enabled Vehicular Networks. *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları (SIU) 2021*, 1-4.
- Gul, O. M. (Ekim 2021). Near-Optimal Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks in IoT era. *IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN) 2021*, 1-4.
- Gul, O. M. (Mayıs 2022). Fair Data Collection in Wireless Communications Networks. *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları (SIU) 2022*, 1-4.
- Gul, O. M., Kantarci. B. (Ekim 2022). Near optimal scheduling for opportunistic spectrum access over block fading channels in cognitive radio assisted vehicular network. *Vehicular Communications*, vol. 37, Oct. 2022, 100500.
- Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. *IEEE JSAC*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220.
- Hero, A., Castanon, D., Cochran, D., Kastella, K. (2007). *Foundations and Applications of Sensor Management*, Chapter 6, Springer, US.
- Johnston, M., Modiano, E., Keslassy, I. (2013). Channel Probing in Communication Systems: Myopic Policies Are not Always Optimal", *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, 1934-1938.
- Johnston, M., Modiano, E., Keslassy, I. (2017). Channel Probing in Opportunistic Communication Systems. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 63, no. 11, 7535-7552.
- Mansourifard, P., Javidi, T. and Krishnamachari, B. (2012). Optimality of myopic policy for a class of monotone affine restless multi-armed bandits", *IEEE CDC*.
- Mitola, J. and Maguire, G. Q. (1999). Cognitive radio: making software radios more personal. *IEEE Pers. Comm.*, vol. 6, no. 6, 13-18.
- Papadimitriou, C. H. and Tsitsiklis, J. N. (1999). The complexity of optimal queueing network control. *Math. Oper. Res.*, vol 24, 293-305.
- Quyng, Y., Teneketzis, D. (2014). On the Optimality of Myopic Sensing in Multi-State Channels. *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 60, no. 1, 681-696.
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Edition.
- Reed, J. H. and Bostian, C. W. (2005). Understanding the issues in software defined cognitive radio, Tutorial at *IEEE DySPAN 05*.
- Villar, S. S. (2016). Indexability and Optimal Index Policies for A Class of Reinitialising Restless Bandits. *Prob. in Eng.&Inform. Sci.*, vol. 30, Iss. 01, 1-23.
- Wang, K., Liu, Q., Li, F., Chen, L., Ma, X. (2015). Myopic policy for opportunistic access in cognitive radio networks by exploiting primary user feedbacks, *IET Commun.*, Vol. 9, Iss. 7, 1017-1025.
- Wang, K., Chen, L. Yu, J., and Zhang, D. (2016). Optimality of Myopic Policy for Multistate Channel Access. *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 2, 300-303.
- Wang, K., Chen, L. and Yu, J. (2016). On Optimality of Myopic Policy in Multi-channel Opportunistic Access. *IEEE ICC 2016*, 1-6.
- Wang, K., Chen, L., Yu, J., Fan, Q., Zhang, Y., Chen, W., Zhou, P., Zhong, Y. (2018). On Optimality of Second-Highest Policy for Opportunistic Multichannel Access. *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 67, no. 12, 12013-12024.
- Watkins, C. J., (1989). Learning from delayed rewards. Ph.D. dissertation, University of Cambridge, Psychology Dep.
- Whittle, P. (1988). Restless bandits: Activity allocation in a changing world. *J.Appl. Prob.* 25A, 287-298.