

Menzil Adaptif Bilişsel Radyo Ağları

A.Çağatay Talay*, D.Turgay Altılar
İstanbul Teknik Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
34469 Maslak, İstanbul
{ctalay,altilar}@itu.edu.tr

Özetçe— Bilişsel Radyo Teknolojisi, son yıllarda kablosuz ağlar konusunda üzerinde en çok bilimsel ve teknolojik araştırma yapılan konulardandır. Bilindiği üzere, radyo spektrumu her ülkede belirli bir kamu kuruluşu tarafından (Ülkemizde Telekomünikasyon Kurumu, A.B.D.’de FCC gibi) belirli ücretler karşılığında lisans verme yöntemiyle her bir teknolojiye sabit spektrum atama ilkesiyle kullanılmaktadır. Bilişsel radyo teknolojisi, temel olarak lisanslı (birincil) kullanıcı üzerinde yaratılan parazitten önceden belirlenmiş belirli bir sınır değeri altında kaldığı sürece radyo spektrumunun lisanssız (ikincil) kullanıcılar tarafından verimli bir şekilde tekrar kullanımı ve paylaşımı ilkesine dayanmaktadır. Bu ilke, bilişsel radyo ağlarındaki ikincil kullanıcıların, birincil kullanıcıların spektrumuna fırsatçı bir şekilde erişimine imkan sağlamaktadır. Bu çalışmada, bilişsel radyo ağları için aynı anda hem birincil hem de ikincil kullanıcıların servis kalitelerini göz önünde bulunduran bir otonom dağıtık adaptif menzil kontrol stratejisi önerilmektedir. Sözü edilen yöntemin anahtar özelliği, bilişsel radyonun birincil kullanıcılar üzerinde parazit yaratmadan mümkün olan en yüksek veri iletimini gerçekleştirebilmek için yayın menziline dinamik olarak ayarlamasıdır. Bu yöntemin öne çıkan diğer bir özelliği ise gerçekleştirmesinin basit bir şekilde yapılabilir olmasıdır. NS2 benzetim ortamı kullanılarak gerçekleştirilen testler, önerilen yöntemin bilişsel radyo ağlarına uygunluğunu ve ağ başarımını artırdığını göstermiştir. Ayrıca güncel bilişsel radyo teknolojilerini kullanan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında menzil adaptif bilişsel radyonun başarımının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler - - *Bilişsel Radyo, Adaptif Menzil, Telsiz Ağlar*

I. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve günden güne artan son kullanıcı talepleri sonucunda hızlı çoğalan (WiFi, HotSpot, Bluetooth, tasarsız telsiz ağlar vb.) telsiz ağ teknolojilerinin kullandığı lisanssız olarak kullanılabilen (2.4 GHz ISM bandı vb.) bantlarda çok aşırı kalabalıklaşmaya neden olmuştur. Günümüzde bu durum son kullanıcılar tarafından bile fark edilebilecek düzeye gelmiştir. Dizüstü bilgisayarını, herhangi bir telsiz ağ bağdaştırıcılı cihazını ve ya bluetooth özellikli cihazını kullanmaya çalışan kişiler şehir merkezlerinde düzinelerle ifade edilebilecek yerel telsiz ağlarla (WiFi, HotSpot isimleri ile anılan ağlar) veya sayısı yine düzinelerle ifade edilebilecek bluetooth kullanıcıları ile

karşılaşmaktadırlar. Bu duruma karşıt şekilde lisanslı bantların büyük kısmı ya çok verimsiz kullanılmakta ya da hiç kullanılmamaktadır. Varolan bu duruma en büyük sebebinin günümüz şartlarına uygun olmayan ve çok az paylaşımına izin veren spektrum atama politikaları olduğu önesürülmektedir [2]. A.B.D.’nin Federal Haberleşme Komisyonu (FCC) kurumunun (Türkiye Telekomünikasyon Kurumu benzeri) yaptığı ölçümlere göre yaklaşık olarak spektrumun %90’ının aktif olarak kullanılmadığı görülmüştür [1]. Örnek olarak televizyon için lisanslı spektrum kullanımı 2004 verilerine göre %14 gibi düşük bir değerdedir. Bu gözlemlere dayanarak ABD’nin Federal Haberleşme Komisyonu kurumu yasal bir düzenleme ile anlık olarak lisanslı kullanıcı tarafından kullanılmayan lisanslı spektrumdaki boşluklarda lisanssız kullanıcıların lisanslı kullanıcıların işleyişlerine zarar vermemek koşulu ile “yasal olarak” söz konusu lisanslı spektrumu kullanabilmelerine olanak sağlamıştır. Bu gelişmeler ışığında bilişsel radyo (BR) (cognitive radio) [3] teknolojisi telsiz ağlar için kıtlık durumuna gelen spektruma çözüm olarak gelişmeye başlamıştır. Bilişsel radyo teknolojisi radyonun çalışma karakteristiklerini çevrenin anlık gerçek zamanlı koşullarına göre adapte ederek, esnek, verimli ve güvenilir spektrum kullanımı için anahtar teknoloji haline gelmiştir. Bilişsel radyo teknolojisi lisanslı kullanıcılara herhangi bir zarar vermeksizin büyük miktardaki kullanılmayan spektrumu etkin bir şekilde kullandırma potansiyeline sahiptir.

Bilişsel radyo teknolojisi kullanımda temel olarak tanımlanmış üç farklı yaklaşım önerilmiştir. Bunlar, iç içe (interweave), altımsırlı (underlay) yerpaylaşımı (overlay) yaklaşımları [4, 5] olarak adlandırılabilir. Altımsırlı yaklaşımda, bilişsel radyo transimiyon işlemini lisanslı kullanıcıya zarar vermeyecek düzeyde parazit oluşturarak yapmaktadır. Yerpaylaşımli yaklaşımda ise bilişsel radyo lisanslı kullanıcının varlığında ve lisanslı kullanıcının mesajlarından bilgi alarak aynı anda spektruma erişmektedir. Son olarak, içi içe yaklaşımda ise bilişsel radyo kullanıcıları, lisanslı kullanıcıların spektrumlarına ancak ve ancak lisanslı kullanıcının var olmadığı ve spektrumu kullanmadığı anlarda erişerek fırsatçı bir yaklaşımla spektrumdan faydalanmaktadırlar. Bu yaklaşım modelinde, bilişsel radyo kullanıcılarının spektrumu anlık olarak kontrol etmeleri ve yakaladıkları boşluklarda spektruma erişmeleri ve lisanslı bir kullanıcı

*A.Çağatay Talay, çalışmanın yapıldığı dönemde TÜBİTAK BİDEB tarafından desteklenmiştir.

spektruma eriştiğinde bunu anında fark ederek lisanslı kullanıcının herhangi bir performans kaybı yaşamadan spektruma erişmesine olanak sağlayacak şekilde spektrumu boşaltmaları gerekmektedir. Literatürde genel olarak bu tip yaklaşım modeli benimsenmiştir ve bu yaklaşım için teknolojiler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmada da bu yaklaşım modeli baz alınmıştır. Sistemde, gerçekçi bir yaklaşımla, hem lisanslı kullanıcılar hem de bilişsel radyo kullanıcılarının aynı ortamda ve aynı anda haberleşmeye çalıştıkları düşünülmektedir. Lisanslı kullanıcıların sabit bir transmisyon gücüne sahip olduğu ve belirli, sabit bir transmisyon menziline sahip olduğu kabul edilmektedir. Bilişsel radyo kullanıcıları ise ortamı dinleyerek, ortamda lisanslı kullanıcı olup olmadığını anlayarak, lisanslı kullanıcılardan kalan spektrum boşluklarını etkin bir şekilde kullanarak haberleşmelerini gerçekleştirmeye çalışmaktadırlar. Bu nedenle bilişsel radyo kullanıcıları, lisanslı kullanıcıları rahatsız etmeden etkin bir haberleşme gerçekleştirebilmek için çeşitli yöntemlere ihtiyaç duymaktadırlar. Yapılan çalışmalar bu tip etkin bir yöntem geliştirme üzerine yoğunlaşmıştır. Bu nedenle, yeni bir yöntem olan adaptif menzil kullanımı önerilmiştir. Bu yöntem ile lisanslı kullanıcıların varlığının tespit edilmesi durumunda bilişsel radyo kullanıcılarının menzillerini lisanslı kullanıcılar üzerinde parazit yaratmayacak bir seviyeye çekilerek, haberleşmenin devamı sağlamaya yöneliktir. Bu sayede hem lisanslı kullanıcılar rahatsız edilmeyerek haberleşmeleri kesintiye uğratılmayacak hem de bilişsel radyo kullanıcılarının haberleşmeleri kesintiye uğramayacak ve her iki sistem kullanıcıları da etkin bir haberleşme gerçekleştirmiş olacaklardır.

II. MEVCUT ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür taramasında konusun çok yeni olması nedeniyle az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Eldeki bilgilere dayanarak, yürütülmekte olan çalışmaların genelde hepsinin, değişken menzil kullanımını bir optimal yayın gücü seçimi problemi olarak yorumladığı ve yapılan çalışmaların tümünün değişken menzili sadece ağ kurulumu öncesinde veya uzun periyotlarla optimum yayın gücü hesaplaması şeklinde hesaplatılarak, ağda hesaplanan optimum menzil (yayın gücü) olarak sabit şekilde kullandığı görülmüştür [6,7,8,9]. Wang ve Zhu adlı araştırmacılar optimal yayın gücü hesabını bir oyun teorisi problemine dönüştürerek, bu problem üzerine yoğunlaşmış ve hesaplanan gücü bilişsel radyolarda sabit olarak kullanarak başarımın arttırılacağını savunmuşlardır [6]. Başka bir çalışmada ise araştırmacılar, bilişsel radyo ve lisanslı kullanıcıların yayın gücü hesabını ortak olarak gerçekleştirerek hem bilişsel hem de lisanslı radyo kullanıcılarının yayın güçlerini optimum olarak hesaplamaya çalışmışlardır[7]. Bu çalışmalardan anlaşıldığı üzere, genel olarak araştırmacılar bilişsel radyoda değişken menzil kullanımını sadece bir yayın gücü hesabı problemi olarak görmüş ve menzilin anlık olarak değiştirilmesi üzerine hiçbir çalışma

gerçeklenmemiştir. Ancak, tasarsız telsiz ağlar için yapılan sadece tek bir çalışmada [10], değişken menzil kullanımının başarımı arttıracağından bahsedilmiş ve değişken menzil kullanımının yarattığı iyileştirme gösterilmiştir. Ancak bu çalışmada da menzil değişimi sadece menzil artırımı şeklinde önerilmiş, bazı durumlarda menzil düşürmenin de başarımı arttıracağı üzerinde durulmamıştır. Ancak daha önce de elimizdeki bilgilere dayanak belirttiğimiz üzere, bilişsel radyolar için bu konuda yapılmış hiçbir çalışma bulunmamaktadır.

Bilişsel radyo ağlarında performans arttırılmasına yönelik yapılan çalışmalardan kimi çalışmalar üretilen veri miktarının arttırılmasına yönelikken kimi de uçtan uca gecikmenin azaltılmasına yöneliktir. Ayrıca bilişsel radyo ağlarında yönlendirme üzerine de birkaç çalışma bulunmaktadır. Cheng ve diğerleri anında istek üzerine yönlendirme ve spektrum atamayı beraber ele alan bir yöntem geliştirmişlerdir [11]. Bu çalışma daha önce tasarsız ağlar için önerilmiş olan anında istek uzaklık vektörü (ad hoc on demand distance vector - AODV) algoritmasının bilişsel radyolara uygulanması temeline dayanmaktadır. Gerçeklenen algorithmada sadece gecikme üzerinde durulmuştur.

III. MENZİL ADAPTİF YÖNTEM

Yapılan çalışmada temel olarak tasarsız ağlarda telsiz haberleşmesi gerçekleştiren lisanslı kullanıcılarla beraber (aynı anda) haberleşmeye çalışan bilişsel radyo (ikincil) kullanıcılarının başarım arttırımı üzerinde durulmuştur. Lisanslı kullanıcıların sabit bir yayın gücü ve belirli bir bit hata oranı sağlayan değişken modülasyon ve kodlama yöntemleri kullanarak haberleştikleri düşünülmüştür. Bilişsel radyo kullanıcılarının iletişimlerinin, aynı haberleşme bandını kullanan lisanslı bir kullanıcı sezildiği anda kesildiği ve bilişsel radyo kullanıcılarının lisanslı kullanıcı haberleşmesini etkilememesine çalıştığı şekilde spektrumu kullandığı şeklindedir. Kullanılan yöntem ne olursa olsun, herhangi bir şekilde sık sık kesintiye uğrayan bir haberleşmenin servis kalitesini düşürdüğü aşikardır. Bu nedenle, önerilen yöntemin bilişsel radyo kullanıcıları arasında var olan haberleşme yolu üzerindeki haberleşme kesintilerini engelleyecek veya en azından azaltacak şekilde tasarlanması çok önemlidir ve servis kalitesi üzerine olumlu etki yapacaktır. Bu çalışmada, söz konusu etkiyi temel alarak değişken yayın menzili kullanan, menzil adaptif bilişsel radyo ağları (RAC: Range Adaptive Cognitive Radio Networks) kullanımı önerilmiştir. Lisanslı kullanıcı varlığının tespiti üzerine bilişsel radyo kullanıcılarının haberleşmeleri aksayabilir, böyle bir durumda var olan tüm haberleşme yolu kullanılmaz hale gelecek ve yeni bir yol oluşturulması gerekecektir. Önerilen RAC yönteminin temeli her bilişsel radyo kullanıcısının haberleşme bağlantısını canlı tutmak için yayın menzilin adaptif olarak ayarlamasına dayanmaktadır. Önerilen RAC yönteminde herhangi bir el sıkışma

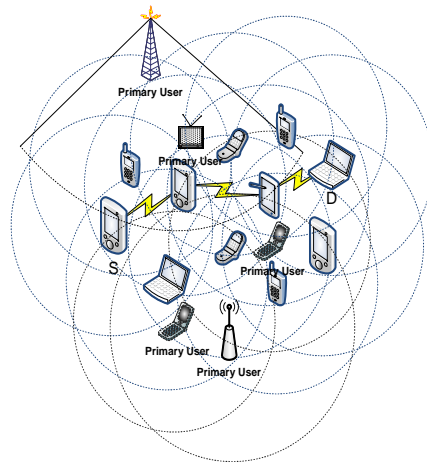
protokolüne veya mesajlaşmaya gerek duyulmadan optimizasyon bilişsel radyo üzerinde yapılmaktadır. Menzil ayarlaması yapılırken, eğer yeterli sayıda bilişsel radyo kullanıcısı sistemde mevcut değil ise çok kısa bir menzil belirlenmesinin ağ bağlantısını sağlayamayacağı düşünülebilir, fakat bu durum herhangi bir telsiz ağ için de geçerlidir. Burada amaç bilişsel radyo kullanıcılarının lisanslı kullanıcıları rahatsız etmeden, lisanslı kullanıcıların varlığında spektrumunu kullanmalarını sağlamak ve haberleşme bağlantısını kısa bir yayın menzili ile bile korumak olduğundan bu durum göz ardı edilebilir. Bu durumla birlikte, yayın menziline çok yüksek olduğu durumlarda da ağ bağlantısının sağlanacağı kesin olmakla birlikte her bilişsel radyo kullanıcısının lisanslı bir kullanıcı ile karşılaşması muhtemel olacak ve bu durum lisanslı kullanıcıya zararlı parazit oluşacak, paketlerde çatışma yaşanması muhtemel olacak ve de kontrol paketlerinin sayısı artacaktır. Bu nedenlerle önerilen RAC yönteminin bu durumları dikkate alarak çalışması sağlanmıştır.

RAC yöntemi çok basit bir temele dayanmakla birlikte bir o kadar etkin bir kullanım getirmektedir. Önerilen RAC yönteminin kullanılması ile yayın menziline dinamik olarak değiştirilmesi sağlanmakta bununla birlikte uçtan uca veri aktarımının artırılmakta ve gecikme ise azaltılmaktadır. RAC yöntemi dağıtık bir yapıda çalışmakta olup, her bir bilişsel radyo kullanıcı düğümünde yerel olarak tutulan uzaklık ölçütüne dayanılarak kullanılacak yayın menzili belirlenmektedir. Yerel bilgi kullanımının ölçülenebilir olması da artı bir avantaj olarak dikkat çekmektedir.

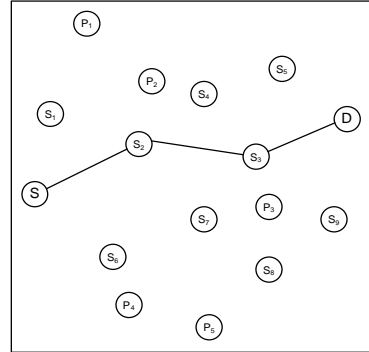
Yapılan çalışmalarda, bilişsel radyo ağı ve lisanslı kullanıcı ağı aynı spektrum ve aynı coğrafyada haberleşme yapımlarına karşın ağlar arasında herhangi biri bilgi paylaşımı veya yardımlaşma bulunmayan bir tasarsız (ad hoc) ağ yapısı kullanılmıştır. Belirtilen ağ yapısı $G=(N, L)$ şeklinde bir graf olarak modellenilebilir, burada $N=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ sonlu sayıda düğümü, $L=\{(x_i, x_j): 1 \leq i < j \leq n \text{ for } x_i \in \mathcal{R}^d, 1 \leq i \leq n\}$ şeklinde tanımlanan L ise her bir bağlantıyı temsil etmektedir. Eğer bir düğüm m , diğer bir düğüm n 'in yayın menziline ise söz konusu iki düğümün tek yönlü bir $l_{nm} \in L$, bağlantısına sahip oldukları kabul edilebilir. Bu durumda n düğümü bir paket yayını yaptığında bu paket m düğümü tarafından l_{nm} bağı ile alınmış sayılabilir. Bir s kaynak düğümü ile d varış düğümü arasındaki bir yol ise çeşitli düğüm ve bağlardan oluşan ve s düğümü ile d düğümü arasındaki tüm yolu ifade eder. Ağdaki her düğüm R_{opt} ile belirtilen bir en iyi yayın menziline sahiptir ve olağan işlem sırasında her düğüm bu en iyi yayın menziline kullanılmaktadır. Ayrıca her düğüm R_n ile belirtilen gerektiğinde kullanılacak olan herhangi bir uzunluktaki yayın menziline sahip olabilir ($R_{min} < R_n < R_{max}$).

Önerilen RAC yönteminde, tasarsız ağlarda yaygın olarak kullanılan AODV yönlendirme protokolü değiştirilerek bu versiyon kullanılmıştır. Ağdaki her bilişsel radyo kullanıcı düğüm, AODV protokolünün

normal özelliklerine ek olarak bir komşu düğüm tablosu tutmaktadır. Bu komşu düğüm tablosu işaret mesajları kullanılarak oluşturulabilir, eğer ağdaki bilişsel radyo kullanıcıları spektrum sezmeye için de işaret mesajları kullanıyorlarsa ek işaret mesajlarına gerek kalmadan bu mesajlar tablo oluşturmak için kullanılabilir. Ayrıca bir haberleşme oturumu esnasında edinilen bilgilerde tablo oluşturulmasına yardımcı olarak kullanılabilir. Söz edilen bu komşuluk tablosunda her komşu düğüm için bir uzaklık ölçütü yerel olarak tutulmaktadır. İşaret mesajları alan düğümler mesajın geldiği düğüme ait uzaklık ölçütünü belirlemek için gelen sinyal gücü belirtecini (received signal strength indicator-RSSI), varış zamanı bilgisini (Time of Arrival - ToA), ve varış açısı bilgisini (Angle of Arrival - AoA) kullanmaktadır.



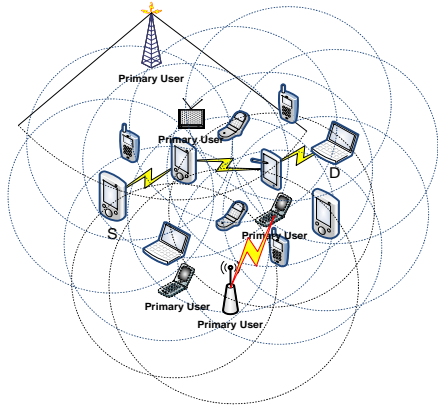
a) Resmedilmiş örnek bilişsel radyo ağı



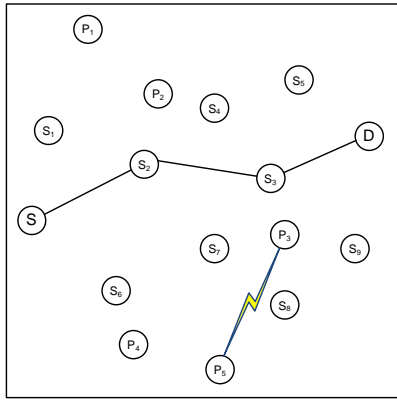
b) Örnek ağıın 2 Boyutlu gösterimi, S ve D düğümleri haberleşirken

Şekil 1. Mobil tasarsız bilişsel radyo ağı örneği

Önerilen yöntemin çalışmasını açıklamak üzere Şekil 1'den yararlanılabilir. Bu örnek ağda S düğümünün D düğümüne gönderecek bir verisi olduğunu varsayalım. Bu durumda S kaynak düğümünden D varış düğümüne bir yol bulunması gerekmektedir. Yukarıda belirtildiği üzere AODV protokolünün bilişsel radyolarla kullanılabilecek değiştirilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Yöntem D düğümüne bir yol isteği mesajının (Route Request - RREQ) yayınlanması ile başlar. D düğümüne ulaşan yol istek mesajı ile D



a) Resmedilmiş durum

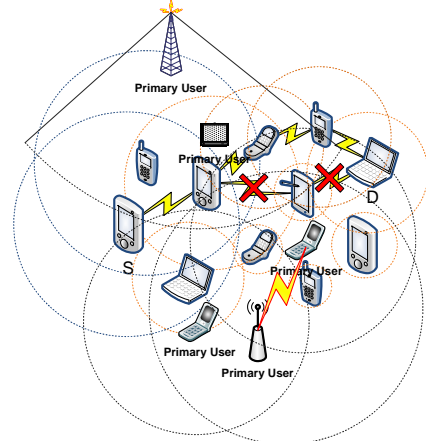


b) 2 Boyutlu gösterim

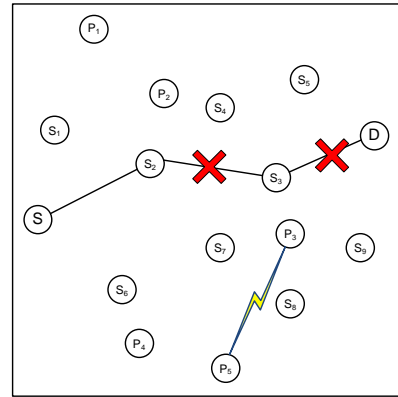
Şekil 2. Lisanslı kullanıcı varlığını sezilmesi durumu

düğümü yol üzerindeki düğümlerin spektrum olanakları hakkında bilgiye sahip olur, ve uygun bulunduğu spektrum kanalından haberleşme yapmak üzere bilişsel radyo parametrelerini ayarlar. Daha sonra, bir yol cevap mesajını (Route Reply - RREP) S düğüme yollar. Bu mesajda kullanılan spektrum kanalı bilgisi de mevcuttur. Ara düğümlerde aldıkları yol cevabı ve daha önce üzerlerinden geçen yol isteği mesajları yardımıyla belirlenen spektrum kanalını kullanırlar. Bu işlemler zinciri aynı şekilde devam eder ve kaynaktan varışa bir yol atanmış olur. Yol bir kez kurulduktan sonra haberleşme normal seyrinde devam eder. Bu esnada yol üzerindeki her düğüm yerel olarak tuttuğu komşuluk tablosu yardımıyla üyesi olduğu yol bilgisini işaretçi mesajları yardımıyla tüm komşu düğümlere yollar. Bu bilgiyi alan tüm komşu düğümler kendi komşuluk tabloları yardımıyla oluşturulmuş olan yol üzerinde hangi düğümlerin kendi komşuları olduğunu belirler ve bu bilginin kaydını tutarlar. Bu esnada bir lisanslı kullanıcı ortamda sezilirse, lisanslı kullanıcıyı sezen tüm bilişsel radyo kullanıcıları lisanslı kullanıcıyı sezer sezmez daha önce belirtilen parametreler yardımıyla lisanslı kullanıcıya olan uzaklıklarını hesaplamaya çalışırlar. Hesaplanan uzaklık ölçütü yardımı ile herhangi bir bilişsel radyo kullanıcı i düğümü, kendi yayın menziline sezdiği ve uzaklığını hesapladığı lisanslı kullanıcıya zararlı parazit seviyesi T_i 'yi geçmeyecek ve

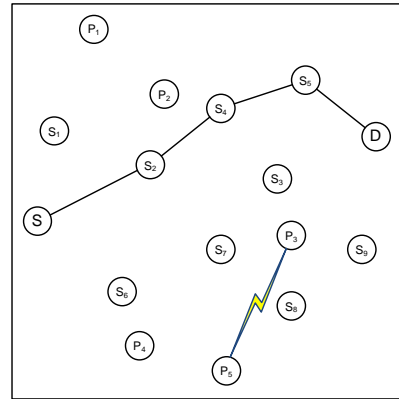
zararlı parazit oluşturmayacak bir değere ayarlar. Bu durum Şekil 2 de gösterilmiştir. Ayrıca her düğümün çalıştığı yöntem sözde kod olarak Algoritma 1'de verilmiştir.



a) Resmedilmiş durum



b) Lisanslı kullanıcı sezme üzerine bilişsel radyo kullanıcıları spektrumunu terk ediyor



c) Yerel düzeltme ile yeni yol kurulumu

Şekil 3. Yerel düzeltme ve adaptif menzil ile yeni yol kurulumu

Düğüm yoğunluğunun yeterince yüksek olduğu durumlarda mevcut yolu koruyan ve lisanslı kullanıcıya zararlı parazit yaratmayan bir yol olması durumunda bu yol hemen seçilerek haberleşmeye devam edilmekte, bu

sayede haberleşmenin kesintiye uğraması engellenmiş olmaktadır. Eğer böyle bir durum söz konusu değil ise, tüm düğümler kendi menzillerini lisanslı kullanıcıya parazit yaratmayacak en büyük menzil değerine ayarlamaktadır. Bu durum Şekil 3’de gösterilmiştir.

Algoritma 1:

```

Algorithm 1: Range Adaptive Cognitive Radio for node  $n_i$ 
1 begin
2   if PU detected then
3     if PU distance calculated then
4       adjust transmission range  $R_{best}$  not causing harmful interference
       to the PU;
5     else
6       while interference to primary user  $> T_i$  do
7         reduce the transmission range by  $\Delta R$ 
8       end
9     end
10  else
11    adjust transmission range  $R_{opt}$ ;
12  end
13  if PU activity interrupted current communication session then
14    multicast RREQ plus the first packet in the queue to neighbors that
    are far from the PU;
15  end
16 end

```

Algoritma 2:

```

Algorithm 2: RAC:Local Repair for node  $n_i$ 
1 begin
2   if primary user detection then
3     use RAC to adapt transmission range;
4   end
5   if active path information packet received then
6     store active path nodes information;
7     decide which nodes on the path are neighbor node;
8   end
9   if RREQ+packet arrives for a specific destination D then
10    check neighbor table and active path information;
11    decide which nodes to send;
12    multicast RREQ+packet to those;
13  end
14 end

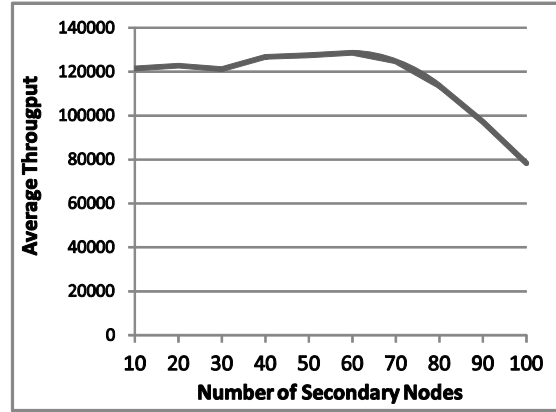
```

Adaptif menzil ayarlamasından sonra yol üzerinde bulunan ve lisanslı kullanıcıyı sezmiş olan düğümler mevcut haberleşme oturumuna ait paketleri ve D düğümüne yeni yol isteği bilgisini kendi komşuluk tablolarını kullanarak ulaşılabildikleri komşu düğümlere çoklu gönderim yapmaktadırlar. İlk ulaşan yol cevap mesajı ile yerel bir düzeltme yapılmış ve yol tekrar kurularak haberleşmeye devam edilmiş olur. Bu yönetime ait sözde kod Algoritma 2’de verilmiştir. Böyle bir durum gerçekleşmez ise kaynak düğüme bir yol hatası mesajı gönderilir. Bu durumda normal AODV protokolüne benzer şekilde yeni bir yol bulmak üzere kaynak düğüm yeni bir yol bulma isteği mesajı ile işlemleri yeni baştan gerçekleştirir.

IV. BENZETİM SONUÇLARI VE PERFORMANS ANALİZİ

Benzetim ortamı olarak bilgisayar ağları alanında yaygın olarak kullanılan “network simulation 2 (ns2)” isimli benzetim ortamı kullanılmıştır. Benzetim ortamında şu parametreler ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Radyo katmanında iki yönlü yer iletim modeli kullanılmıştır. Her kanalın veri aktarım hızı 2Mbps olarak belirlenmiştir. Benzetim alanı olarak 1800mx1800m boyutlarında bir alan modellenmiştir. Bu alan içerisinde değişen sayılarda bilişsel radyo ve lisanslı kullanıcı sayıları ile deneyler yapılmıştır. Bu düğümlerin

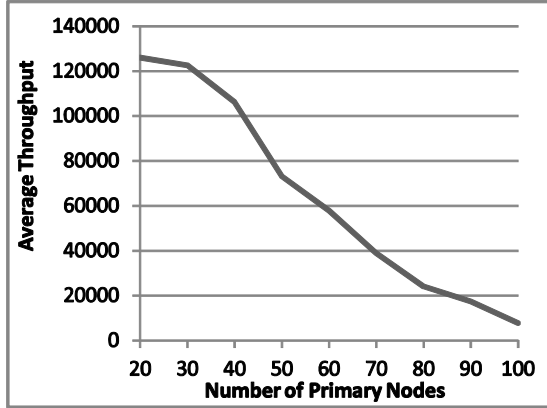
her biri, rastasal olarak kendisine bir hedef noktası seçmekte ve hedef noktaya yine rastasal olarak tekbiçimli dağılım ile 0 ile 20 m/s arasında bir hızla hareket etmektedir. Düğüm hedef noktaya ulaştığında yeni bir hedef nokta seçmekte ve bu süreç benzetim sonlanana kadar devam etmektedir. Ayrıca, her kaynak düğümü 1Kb uzunluğunda paketleri üretmekte ve her 100ms de bir bu paketleri üretmeye devam etmektedir. Her benzetim deneyi için, benzetim yazılımı 50 kez çalıştırılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması başarımlar karşılaştırılmasında kullanılmıştır.



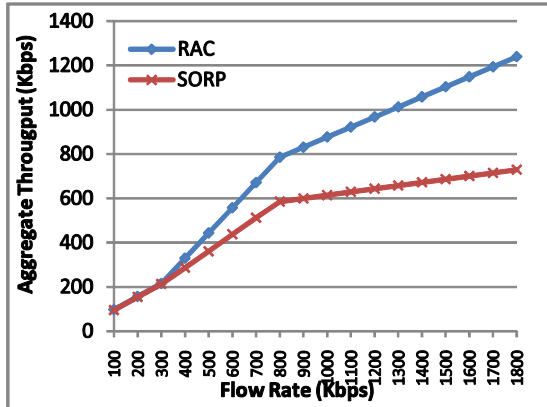
Şekil 4. Değişen bilişsel radyo kullanıcı sayısı ile 20 lisanslı kullanıcı için veri aktarım sonuçları

Yapılan deneyler için ilk olarak, düğüm sayısının başarıma etkisi araştırılmış ve düğüm sayısı hem bilişsel radyo kullanıcıları için 10 ila 100 arasında değiştirilmiş hem de lisanslı kullanıcılar için 20 ile 100 düğüm arasında değiştirilmiştir. Elde edilen başarımlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekil 4’de bilişsel radyo sayısı 10 ila 100 arasında değiştirilerek ortamda 20 lisanslı kullanıcı mevcutken başarımların nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, 60 bilişsel radyo kullanıcıya kadar başarımlar yüksek seyretmiş daha sonra normal tasarsız ağlara benzer şekilde ortamda fazla kullanıcı bulunması nedeniyle çatışmalar ve karşılıklı parazit oluşturma durumu nedeniyle veri aktarım miktarı düşüş göstermiştir. Şekil 5’te lisanslı kullanıcı sayısı 20 ila 100 arasında değiştirilerek ortamda 50 lisanslı kullanıcı mevcutken başarımların nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, ortama katılan her lisanslı kullanıcı bilişsel radyo ağının başarımlarını direkt etkilemekte ve bilişsel radyo kullanıcılarının lisanslı kullanıcı sezmeleri üzerine spektrumu boşaltma zorunluluğu nedeniyle başarımların düştüğü gözlemlenmektedir. Şekil 6’da karşılaştırma için seçilen SORP ve önerilen RAC ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama veri aktarımına ait bilgileri göstermektedir. Elde edilen verilere göre, SORP yöntemi akış hızının 800Kbps olduğu durumdan sonra performansını kaybetmiş ve kanal limitine yaklaşmıştır. Trafik yükünün arttığı durumda önerilen RAC yönteminin başarımlarının diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. Bunun nedeni önerilen

yöntemin öncelikle adaptif menzil ayarlaması gerçekleştirilmesi ve yerel düzeltme yapmaya çalışması ile var olan yolun korunması veya çabuk olarak yolun tamiri ile kazanılan başarımların artımıdır. Bilişsel radyonun kullanıldığı çok dinamik ortamlarda, başka bir deyişle lisanslı kullanıcılara zarar vermemek üzere sıkça değişen bilişsel radyo ağlarında RAC ile var olan yol korunmaya çalışılmakta, eğer yol korunamaz ise yerel düzeltme yapılmaktadır. Bu işlemlerin doğal sonucu olarak başarımın arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Değişen lisanslı kullanıcı sayısı ile 50 bilişsel radyo kullanıcısı için veri aktarım sonuçları



Şekil 6. Akış veri miktarının artışına karşı ortalama uçtan uca veri aktarım sonuçları

V. SONUÇ

Bu çalışmada RAC: Menzil Adaptif Bilişsel Radyo Ağları adı altında yeni bir yöntem önerilmiştir. Hem veri miktarının artırılmasına yönelik hem de uçtan uca gecikmenin azaltılmasına yönelik olarak çalışan bir yöntem olarak gerçekleştirilen yöntemin bilişsel radyo kullanımında etkin bir yöntem olduğu yapılan deneyler neticesinde görülmüştür. Önerilen yöntem tamamen dağıtık yapıda olup yayın menzilin dinamik olarak değiştirilmesi ile haberleşme kesintilerinin önüne geçilmeye çalışılarak aynı anda hem bilişsel radyo kullanıcılarının hem de lisanslı kullanıcıların servis

kalitesini arttırmaya yönelik olarak çalışmaktadır. Gerektiğinde yayın menzilin adaptif olarak değiştirilmesi esasına dayanan yöntem, görüldüğü üzere basit olmasına karşın oldukça etkin bir yöntemdir. NS2 benzetim ortamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda RAC yönteminin hem uçtan uca veri aktarımını arttırdığı hem de uçtan uca gecikmeyi azalttığı görülmüştür. Yapılan karşılaştırmalar ile de RAC'ın diğer yöntemlere göre daha iyi performans sağladığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, pp. 10-12, Feb. 2005.
- [2] B. Fette, Ed., *Cognitive Radio Technology*, Burlington, MA: Newnes, Aug. 2006.
- [3] J. Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio," Ph.D. Dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2000.
- [4] Sudhir Srinivasa ve Syed Ali Jafar, "The Throughput Potential of Cognitive Radio: A Theoretical Perspective," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 45, no. 5, pp. 73-79, May 2007.
- [5] A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric, S. Srinivasa, "Breaking Spectrum Gridlock With Cognitive Radios: An Information Theoretic Perspective," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 5, pp. 894-914, May 2009.
- [6] Xia Wang ve Qi Zhu, "Power Control for Cognitive Radio Base on Game Theory," in *Proc. of the Networking and Mobile Computing*, September 2007, pp. 1256-1259.
- [7] Sooyeol Im, Hyongsuk Jeon, Hyuckjae Lee, "Autonomous Distributed Power Control for Cognitive Radio Networks," in *Proc. of the IEEE 68th Vehicular Technology Conference (VTC 2008-Fall)*, 21-24 Sept. 2008, pp. 1-5.
- [8] Y. Chen, G. Yu, Z. Zhang, H. Chen, P. Qiu, "On Cognitive Radio Networks with Opportunistic Power Control Strategies in Fading Channels," *IEEE Transactions On Wireless Communications*, vol. 7, no. 7, July 2008.
- [9] Kyuho Son ve diğ. "Opportunistic Underlay Transmission in Multi-Carrier Cognitive Radio Systems," in *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 5-8 April 2009, pp.1-6
- [10] Krishna Paul and S. Bandyopadhyay, "Self-Adjusting Transmission Range Control of Mobile Hosts in Ad Hoc Wireless Networks for Stable Communication", Presented in the Sixth International Conference on High Performance Computing HiPC99, Calcutta, India, December 1999.
- [11] Geng Cheng; Wei Liu; Yunzhao Li; Wenqing Cheng, "Spectrum Aware On-Demand Routing in Cognitive Radio Networks" in *Proc. of the 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN 2007)*, 17-20 April 2007, pp. 571-574.
- [12] D. Niculescu, B. Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA," in *Proc. of the Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2003)*, 30 March-3 April 2003, vol. 3, pp. 1734-1743.
- [13] D. Moore, J. Leonard, D. Rus, S. Teller Robust distributed network localization with noisy range measurements, " in *Proc. of the 2nd international Conference On Embedded Networked Sensor Systems*, 2004, pp. 50 – 61.
- [14] The Network Simulator: ns2. Internet: http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page, 15 January 2009.