

# TASARSIZ BİLİŞSEL RADYO AĞLARINDA YÖNLENDİRMEDE YOL DÜZELTMENİN BAŞARIMA ETKİSİ

A.Çağatay Talay, D.Turgay Altılar

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
{ctalay, altilar}@itu.edu.tr

## ÖZET

Bilişsel radyo teknolojisi çok güncel bir araştırma alanıdır ve bu alanda en önemli konulardan bir tanesi de yönlendirme. Bu çalışmada, daha önce önerilmiş olan bir yönlendirme protokolünde yol düzeltmenin başarısına olan etkisi üzerinde durulmuştur. Yönlendirme protokollerinin kullandıkları yol bulma teknikleri yanında bulunan yolun özellikle bilişsel radyo ağları gibi değişken ortamlara uyum sağlamalarının da çok önemli özellik olarak öne çıktığı gözlemlenmiştir. Benzetim sonuçları bu durumu gözler önüne sermektedir.

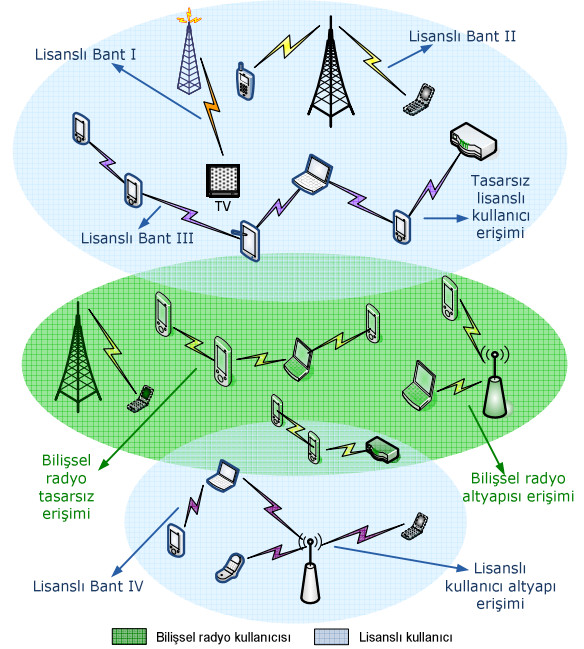
Anahtar Kelimeler: Bilişsel radyo ağları, yönlendirme, yol düzeltme

## 1. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz iletişim teknolojisine dayanan pek çok cihaz ve bu cihazların kullanıldığı pek çok uygulama geliştirilmekte ve bizlerin hizmet ve beğenisine sunulmaktadır. Giderek artan yoğunlukta kullanılan bu cihaz ve uygulamalar ise yüksek performans sergilemek için büyük miktarda veri akışı gerçekleştirmekte ve geniş bant veri iletişimine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu tip veri iletişiminin yapıldığı frekans tayfı ise sınırlı bir doğal kaynaktır ve en etkin biçimde kullanılması gerekmektedir. Tayf verimliliğini arttırmayı hedefleyen bir teknoloji olarak ortaya çıkan bilişsel radyo [1,2], basit olarak, belirli bir radyo tayfının kullanımında olup olmadığını sezebilen ve anlık olarak kullanımında olan bir tayfı sezer sezmez başka bir tayf bölümünde yetkili kullanıcılara girişim yaratmadan iletişimine devam edebilen bir sistem şeklinde tanımlanabilir. Bu özelliği ile bilişsel radyo, hızla değişen ortamlara adapte olarak, artan kullanıcı sayısına ve hizmet taleplerine cevap verebilecek ve ortaya çıkan tayf kıtlığı sorununa etkin bir çözüm olabilecek yeni bir teknolojidir.

Bilişsel radyo ağlarında bugüne kadar üzerinde en çok çalışma yapılan konular tayf sezme ve paylaşma [3,4] olmasına rağmen günümüzde bilişsel radyo ağlarında yönlendirme üzerine de birçok çalışma bulunmaktadır ve yapılan araştırmaların sayısı giderek artmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarında değişen ağ

koşullarına karşı uyarlamalı bir şekilde yol düzeltme teknikleri kullanılmaktadır. Söz konusu kullanılan çeşitli teknikler yönlendirme üzerinde önemli ölçüde başarımları artışı sağlayabilmektedir. Bu çalışmada ele alınan örnek bir yönlendirme protokolü üzerinde gerçekleştirilen yol düzeltmenin başarısına olan etkisi üzerinde durulmaktadır.



Şekil 1: Örnek bilişsel radyo ağı

## 2. TASARSIZ BİLİŞSEL RADYO AĞLARINDA YÖNLENDİRME

Bilişsel radyo ağları daha önce var olan ve belirli bir tayf kullanımı için önceden resmi kurumlarca lisanslandırılmış ağlarla birlikte çalışmak üzere tasarlanmışlardır. Her iki ağ türü içinde çeşitli erişim yöntem ve teknolojileri kullanılıyor olabilir. Bu çalışmada ele alınan bilişsel radyo ağının tasarsız bir ağ olduğu ve hareketli düğümlerden oluştuğu varsayılmaktadır. Şekil 1'de örnek bir bilişsel radyo gösterilmiştir. Söz konusu örnek ağ düzeninde bilişsel radyo kullanıcıları değişik tayf bantlarını birincil kullanıcılar ile ortak olarak kullanmaktadır. Çok sayıda

ve değişik kapasiteye sahip tayf bantları kullanımda olabilir. Her bilişsel radyo kullanıcısı tasarsız ağların ve bilişsel radyonun doğası gereği yerel tayf sezme işlemi sonucunda söz konusu tayf bantlarını değişik şekil ve miktarlarda görebileceklerdir. Bu tip hareketli ve çok atlamalı bir yapıda yönlendirme meselesi öncelikle hem hangi ara düğümlerin yolu oluşturacağını hem de hangi tayf bant veya bantlarının kullanılacağını tespiti şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu aşamadan sonra ise kullanılacak bir yol düzeltme (bakım) tekniği de yönlendirme ile doğrudan ilişkilidir. Eldeki bu mesele her ne kadar çok kanallı çok atlamalı tasarsız ve örgü ağlarında yönlendirmeye benzese de lisanslı kullanıcıların eş zamanlı yayınları ve bu nedenle erişilebilir tayfın anlık değişimi nedeniyle ek zorluklar barındırmaktadır.

Tasarsız bilişsel radyo ağlarında temel olarak üzerinde durulması ve çözülmesi gereken temel meseleler kısaca şu şekilde özetlenebilir. Tasarsız bilişsel radyo ağlarında etkin yönlendirme yöntemleri tayf yönetimi ve yönlendirme birimi arasında sıkı bir bağlaşım gerektirir. Böylece yönlendirme birimi düğümü çevreleyen fiziksel ortam hakkında devamlı olarak bilgi sahibi olacak ve yönlendirmeye ilişkin kararları daha hatasız olabilecektir. Burada tayf sezme ve tayf kullanımına ait bilgi birkaç şekilde yönlendirme birimine sunulabilir. Tayf sezme bilgisi tamamen dış birimler tarafından sağlanıyor olabilir. Her bir bilişsel radyo kullanıcısı işbirlikçi şekilde veya bireysel olarak tayf sezme gerçekleştirebilir. Bunların yanında her iki biçimin karışımı ile oluşturulmuş herhangi bir yöntem kullanılabilir. Her ne şekilde olursa olsun sonuçta bilişsel çevrime ait tayf sezme ve tayf yönetimi ile yönlendirme çok sıkı bağlaşım olması gereklidir.

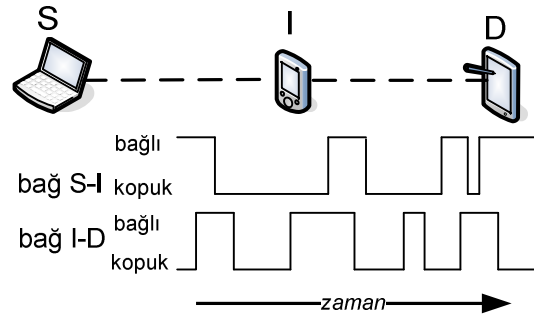
Üzerinde durulması gereken önemli mesele ise daha yol kurulma aşamasında kurulacak olan yolun kalitesidir. Klasik tasarsız ve örgü ağlarında da üzerinde önemle durulan yol kalitesi kavramı, bilişsel radyo ağlarına has özellikleri de kapsayacak şekilde tekrar gözden geçirilmelidir. Örneğin, klasik ölçme/değerlendirme ölçütlerinin yanı sıra tercih edilecek yolun istikrarı, durağanlığı, tayf erişilebilirliği ve lisanslı kullanıcıların varlığı gibi ölçütlere göz önüne alınarak yol kurulma aşamasında kaliteli yollar belirlenmelidir. Bu tip bir yaklaşım için lisanslı kullanıcı faaliyeti az olan bilişsel radyo ağlarında klasik yönlendirme ölçütlerine yaklaşıırken, lisanslı kullanıcı faaliyeti yoğun olan bilişsel radyo ağlarında ise kesintili ağlar için geliştirilmiş ölçütlere yaklaşılarak yönlendirme gerçekleştirilebilir.

Bir başka dikkat çeken ve bu çalışmada da üzerinde durulan mesele ise lisanslı kullanıcıların ani faaliyeti ile belirli bir tayfın bilişsel radyo kullanıcıları için kullanılamaz hale gelmesi ve önceden estirilemeyen ve engellenemeyen yol hatalarının ortaya çıkmasıdır. Bu durumda kullanılan tayf ya da düğümlerin değişmesi ile

yeni yol kurulması işleminin tekrarlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Aynı durum hareketlilik nedeniyle de ortaya çıkıyor olabilir. Bu tip durumlarda etkin yöntemler ile yolun düzeltilmesi veya daha az kaynak harcanarak yolun yeniden kurulması işleminin gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir.

## 2.1. Kullanılan Yönlendirme Yöntemi

Bu çalışmada daha önce önerilmiş olan “RACON: A Routing Protocol for Mobile Cognitive Radio Networks” [5] isimli bir yönlendirme yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan RACON yönlendirme yöntemi temel olarak, tayf bağlantı davranışını takip eden ve ilgili tayf bandına erişimin genel durumunu belirtmek üzere sürekli güncellenen kalıcı bir maliyet değerini ölçüt olarak kullanan bir yöntemdir. Söz konusu ölçüt, tayfa erişebilirlik süre ve sıklıklarına göre değişen bir maliyet ölçütüdür. Örneğin, Şekil 2’de gösterilen bağlara ait dönemsel bağ bağlantı modellemesi yapıldığında bu bağlara ait sonlu bir maliyet hesaplanacaktır. Bu nedenle anlık olarak S-D arasında bir bağlantı olmasa bile bu bağlara ait maliyet ölçütü kullanılarak bu bağların da yol bulma sırasında kullanılması olanağı sağlanmış olacaktır.



Şekil 2: Bağ bağlantı örneği

Genel olarak yönlendirme yöntemleri yol bulma işlemini belirli bir ölçüte göre en az maliyetli yolu seçerek gerçekleştirmektedirler. Bu nedenle yol bulma işleminden sonra paket iletme işlemini bulunan yola göre tek bir düğüme yapmaktadırlar. Çünkü klasik ağlarda yolların güvenilirlikleri oldukça yüksektir. Ancak hareketli tasarsız ağlarda ve özellikle de bilişsel radyo ağlarında böyle bir durumdan söz etmek mümkün olmayabilir. Örneğin bulunmuş bir yol üzerindeki bir düğüme paket ulaştığında eş zamanlı olarak lisanslı kullanıcının faaliyete başlaması sonucunda eğer bir sonraki düğüm ile ortak bir tayf bandı bulunmuyorsa paket bir sonraki düğüme iletilmeyecektir. Bununla birlikte söz konusu düğüm paketi belirli bir süre saklayarak daha sonra göndermeyi deneyebilir. Ayrıca, paket beklide birden çok düğüme gönderilerek bir yol bulması amaçlanabilir. Fakat tüm bu kararların verilmesi sırdan bir işlem gibi değerlendirilemez, çünkü bu

kararlar yönlendirme ve dolayısıyla da ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Ele alınan yönlendirme yöntemi yol bulma işleminden sonra paketin iletilmesi sırasında eğer komşu düğümler daha küçük bir ölçüt değerine sahip olmuşlar ise daha önce belirlenmiş olan sonraki düğüm ile birlikte ölçütü düşük olan tüm düğümlere de paketin gönderilmesi esasına dayanarak çalışmaktadır.

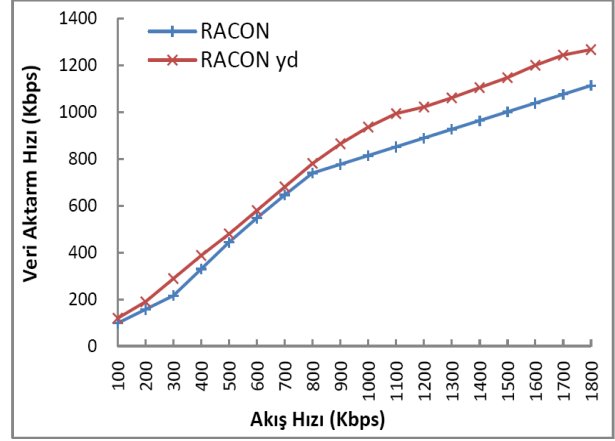
## 2.2. Yol Düzeltme

Belirli bir yönlendirme yöntemine göre bulunan yol, kurulma zamanında bulunabilecek en iyi yol olabilir, fakat bu zaman içerisinde ağ durumuna bağlı olarak değişebilir. Klasik tasarsız ağ ve bilişsel radyo sorun ve niteliklerine uyum sağlamak amacı ile bir yol düzeltme (bakım) işlevi gereklidir. Bu işlev ile kurulan yolun düzenli olarak gözden geçirilmesi ve eniyileme yapılması kaçınılmaz bir zorunluluktur. Bu nedenle ele alınan yönlendirme yöntemine bir yol düzeltme (bakım) işlevi eklenmiştir. Söz konusu düzeltme işlevi her düğüm üzerinde dağıtık olarak kullanılmakta ve var olan yönlendirmeye herhangi bir ek yük getirmemektedir. Düzeltme işlevi basitçe düzenli olarak tayf erişebilirlik ölçütünün daha önceden belirlenmiş bir sınır değerini aşmış olmasına kontrol etme esasına dayanmaktadır. Eğer ölçüt daha önceden belirlenmiş olan sınır değerini aşmış ise değişim maliyeti hesaba katılarak ya daha az yoğun bir bağ kullanımına veya başka bir tayf bandı kullanımına geçme şeklindedir. Ayrıca, eğer bir nedenle yolda bir kopukluk oluşması durumunda ise aşağıdaki şekilde bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşımlar: eğer erişilemeyen düğümden bir sonraki durum erişilebilir durumda ise sonraki düğüm olarak o düğümü kullanma; lisanslı kullanıcı faaliyetinden etkilenmemiş olan ve aynı zamanda bir sonraki düğüm ile bağlantısı olan kısa bir yol oluşturma şeklindedir.

## 3. BENZETİM SONUÇLARI VE BAŞARIM

Bilgisayar ağları alanında benzetim ortamı olarak oldukça sık kullanılan ve genel kabul görmüş olan ns-2 kullanılarak gerçekleştirilen benzetimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda önerilen protokolün başarımı ve işlevsel doğruluğu değerlendirilmiştir. Benzetim ortamında gerçekleştirilen deneyler için kullanılan parametre değerleri aşağıdaki şekildedir. Radyo katmanında iki yönlü yer iletim modeli kullanılmıştır. Her bir kanalın veri aktarım hızı 2Mbps olarak belirlenmiştir. Benzetim ortamı 50 adet bilişsel radyo düğümünün 1800m x 1800m boyutlarında bir alanda hareket ettikleri düşünülerek tasarlanmıştır. Söz konusu düğümlerin her biri, rastsal olarak kendisine bir hedef noktası seçmekte ve hedef noktaya yine rastsal olarak tekbiçimli dağılım ile belirlenen ve 0 ile 20 m/s arasında olan bir hızla hareket etmektedir. Düğüm hedef noktaya ulaştığında yeni bir hedef nokta seçmekte ve bu süreç benzetim sonlanana kadar devam etmektedir. Lisanslı

kullanıcıların etkinlikleri bağımsız iki durumlu rastgele süreçler olarak modellenmiştir. Lisanslı kullanıcıların menzili 250m olarak kullanılmıştır. Bilişsel radyo kullanıcılarının iletim menzili ise 180m olarak belirlenmiştir. Tüm benzetimlerde düğümler sabit bit hızı trafiği üretmiştir ve her paket 1KB boyundadır. Her düğüm için paket iletim aralığı 100ms olarak ayarlanmıştır. Ayrıca tüm düğümler 2000 paketlik bir arabelleğe sahiptir. Benzetim 50 kez çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3: Artan akış hızına karşı veri aktarım hızının değişimi

Ele alınan yönlendirme yönteminin başarımının ve yol düzeltmenin bu başarımlar üzerindeki etkisinin tespiti için başarımlar ölçütü olarak ortalama veri aktarım hızı irdelenmiştir. Öncelikle benzetim ile RACON yönlendirme yönteminde yol düzeltme olmaksızın ortalama veri aktarım hızı tespit edilmiştir. Daha sonraki aşamada ise söz konusu yönlendirme yöntemine yol düzeltme (bakım) işlevi eklenerek benzetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te görülmektedir. Ağ içerisindeki trafik yükünün daha düşük olduğu durumlarda RACON yönteminin zaten iyi sonuçlar vermesi nedeniyle, yol düzeltme işlevi ile birlikte az miktarda da olsa bir başarımlar artışı sağlandığı tespit edilmektedir. Ancak, trafik yükünün özellikle 800Kbps'den büyük olduğu durumlarda yol düzeltmenin başarımlar etkisinin oldukça önemli miktarlarda olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni olarak trafik yükünün artmasıyla ortaya çıkan yol kopukluklarının fazlalığı ve yol düzeltmenin bu kopuklukların telafisine yönelik işlevi olarak düşünülebilir.

## 4. SONUÇLAR

Bilişsel radyo teknolojisi varolan kablosuz iletişim teknolojilerinin çeşitli özelliklerini de barındıran ancak tamamen yeni ve değişik bir yaklaşımla tayf kullanımı ve paylaşımı ile kablosuz ağların başarımını arttıran ve gelecekte de gelişen yapay zeka çalışmaları ile birlikte

bir çok yeniliğe yön verecek bir teknolojidir. Bu çalışmamızda bilişsel radyo ve yönlendirme hakkında genel olarak bilgi verilmeye çalışılmakta birlikte özellikle yönlendirmede yol düzeltmenin başarımı olan etkisi üzerinde durulmuştur. Benzetim sonuçları değerlendirildiğinde yönlendirmede yol düzeltme (bakım) işlevinin önemli başarımlarını sağladığı gözlemlenmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] J. Mitola, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", PhD dissertation, Department of Teleinformatics, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2000.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, K. R. Chowdhury, "CRAHNS: Cognitive radio ad hoc Networks", *Ad Hoc Networks Journal*, 7: 810–836, 2009.
- [3] T. Yucek, H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 11: 116–130, 2009.
- [4] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, Shantidev Mohanty, "A survey on spectrum management in cognitive radio networks", *IEEE Communications Magazine*, 46:40-48, April 2008.
- [5] A.C. Talay ve D.T. Altılar, "RACON: a routing protocol for mobile cognitive radio networks", Proc. of the ACM MOBICOM Workshop on Cognitive Radio Networks, (CoRoNet 2009), ACM, 21 Eylül 2009, pp. 73-78, Beijing, China.