

# IEEE 802.22 ve 802.11af Sistemlerinin Birlikte Varolabilmeleri için Meşgul Tonu Gerçekleşmesi

## Busy Tone Implementation for Coexistence of IEEE 802.22 and 802.11af Systems

Onur Karatalay, Serhat Erkuçuk  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Kadir Has Üniversitesi, İstanbul  
{onur.karatalay, serkucuk}@khas.edu.tr

Tunçer Baykaş  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul  
tbaykas@medipol.edu.tr

**Özetçe**—Bu bildiri, IEEE 802.22 ve IEEE 802.11af sistemlerinin TV beyaz boşluğunda birlikte varolabilmeleri için meşgul ton tabanlı yeni bir algoritma önerilmiştir. Önceki meşgul ton tabanlı çalışmalardan farklı olarak 802.11af erişim noktasının meşgul tonu dinlemesinin yanı sıra, erişim noktasına bağlı kullanıcılar da meşgul ton sinyali dinlemekte ve bu sinyali duyduklarında erişim noktasına iletmektedirler. Böylelikle 802.22 sistemlerine yapılan girişim azaltılmaktadır. Bu çalışmada standartlara uygun iletişim parametreleri ve kanal modelleri dikkate alınmış ve önerilen sistemin iyileştirme performansı girişim yapan paket oranı cinsinden değişik duyma bölgeleri için elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — TV beyaz boşluğu; birlikte varolabilme; IEEE 802.22; IEEE 802.11af; meşgul ton.

**Abstract**—In this paper, a new algorithm based on busy tone approach has been proposed for the coexistence of IEEE 802.22 and IEEE 802.11af systems in TV white space. Different from the earlier study, in addition to 802.11af access points listening to the busy tone signal, their clients also listen to the busy tone and let the access points know once they hear it. Accordingly, interference caused to 802.22 systems has been reduced. This study quantifies the improved system performance in terms of interfering packet rate for different hearing regions considering the communication parameters and channel models adapted for the standards.

**Keywords** — TV white space; coexistence; IEEE 802.22; IEEE 802.11af; busy tone.

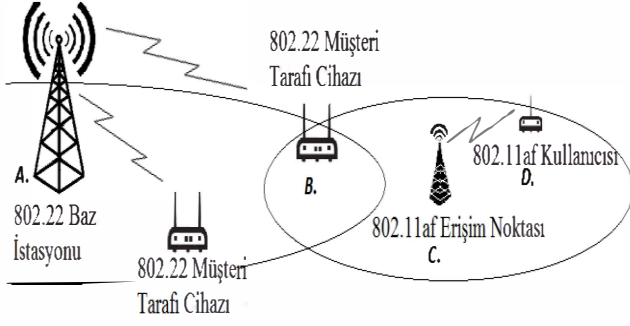
### I. GİRİŞ

Analog TV yayınlarından Sayısal TV yayımlarına geçilmesiyle boşa çıkan frekans bantlarının, ABD’de bulunan ve frekans tayfını düzenlemekle görevli olan Federal Communications Commission (FCC) tarafından ikincil kullanıcıların (Secondary User - SU) çalışmasına ayrılması kararlaştırılmıştır [1]. 470-790 MHz aralığında

Bu araştırma TT Collaborative Research Awards programı kapsamında Türk Telekom ve Argela tarafından desteklenmektedir.

olan bu frekans bandı TV Beyaz Boşluğu (TV White Space - TVWS) olarak adlandırılmaktadır. İkincil kullanıcılara ayrılan frekanslar bölgelere ve zamana göre değişiklik gösterebilmektedir. Birincil kullanıcılara (Primary User - PU) girişim yapmamak için bu frekansta bulunan TV Bant Cihazlarının (TV Band Devices - TVBD) çalışma frekanslarını dinamik olarak ayarlaması gerekmektedir. [2]-[3]. TVWS’te ikincil kullanıcı olarak çalışması planlanan en önemli iki ağ çeşidi IEEE 802.22 Bölgesel Alan Ağı (WRAN) ve IEEE 802.11af Yerel Alan Ağı (WLAN) olarak belirlenmiştir [4]-[5]. TVWS’te çalışacak olan bu ağ çeşitlerinin, seçilen frekansta birincil kullanıcıların (örn: TV sinyalleri, kablosuz mikrofonlar, vb.) olup olmadığını bilmesi zorunludur; aksi halde girişim kaçınılmazdır. Bu yüzden Konum Belirlemeli Veritabanı (Geolocation database - GLD) veya Bilişsel Radyo (Cognitive Radio - CR) teknolojisi kullanarak boş frekanslar seçilir ve lisanslı kullanıcılara oluşturulacak muhtemel girişim ortadan kaldırılır [6].

Birincil kullanıcıların yanı sıra TVWS’te çalışan diğer ikincil kullanıcıların da ortamdaki varlığının bilinmesi oldukça önemlidir. İkincil kullanıcıların kullandıkları fiziksel katmanların (PHY), ortam erişim kontrollerinin (MAC), verici güçlerinin ve alıcı duyarlılıklarının farklı olması sebebiyle birlikte varolma algoritmaları oluşturmak kolay olmayabilir [7]. Birbirinden bağımsız çalışan ikincil ağların birlikte varolabilmeleri için IEEE 802.19.1 standardı geliştirilmiştir ve standardın önemli özellikleri [8]’de özetlenmiştir. İkincil kullanıcıların birbirlerini tespit edebilmesi için iletim güç kontrolü, enerji algılama eşiği ve dinamik kanal seçimi gibi bazı yöntemler önerilmiştir [8]. Bunlardan farklı olarak [9]’da 802.22 sisteminin ortama meşgul tonu (Busy Tone - BT) sinyali vermesi ile bulunduğu frekans bandının dolu olduğunu bildirmesi sunulmuştur. Burada 802.22 kullanıcı cihazlarının birincil kullanıcıların varlığını tespit etmesi için sahip oldukları ikinci antenden yararlanılmıştır [4].



Şekil 1. Gizli terminal olarak girişim

İkinci anten birincil kullanıcı tespiti yapmadığı zamanlarda, BT sinyali yollayarak o frekansı kullandığını farklı ağlardaki ikincil kullanıcılara haber verebilir. [9]'da yalnızca 802.11af erişim noktasının BT'yi dinlediği durum incelenmiştir.

Bu bildiride [9]'dan farklı olarak 802.11af erişim noktasının meşgul tonu dinlemesinin yanı sıra, erişim noktasına bağlı kullanıcıların da meşgul tonu dinlemesi ve bu tonu duyduklarında erişim noktasına iletmeleri üzerine kurulu bir birlikte varolma yaklaşımı sunulmuştur. Bu çalışmada standartlara uygun iletişim parametreleri ve kanal modelleri dikkate alınmış ve önerilen sistemin iyileştirme performansı girişim yapan paket oranı cinsinden değişik duyma bölgeleri ve kullanıcı sayıları için elde edilmiştir.

## II. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada aynı frekansta yayın yapan ve birbirlerine girişim yaratma ihtimali olan ikincil kullanıcılar varsayılmıştır. Şekil 1'de A noktasında bir 802.22 baz istasyonu bulunmakta ve B noktasındaki 802.22 Müşteri Tarafı Cihazı'yla (Customer Premises Equipment - CPE) haberleşmektedir. C noktasında konumlanmış 802.11af Erişim Noktası (Access Point - AP), D noktasında bulunan kullanıcı ile haberleşmeye geçtiğinde, B noktasındaki 802.22 Müşteri Tarafı Cihazı için gizli terminal (Hidden Terminal) olarak kalabilir.

Eğer C noktasından B noktasına gelen girişim sinyal gücü, A noktasından gelen sinyal gücüne göre belirli bir değerin üzerindeyse, CPE'nin paketlerinde kayıplara sebep olacaktır. Bu yüzden ikincil kullanıcılar ya özel bir şekilde konumlandırılmalı ya da bir algoritma yardımıyla korunmalıdır. Bu çalışmada öncelikle vericilerin güçleri ve yol kayıp modelleri göz önüne alınarak ikincil ayrı sistemler (IEEE 802.22 ve IEEE 802.11af) arasında güvenli çalışma uzaklığı hesaplanacaktır.

### A. Güvenli Çalışma Bölgelerinin Hesabı

802.22 Baz İstasyonu (BS) ve Müşteri Tarafı Cihazı (CPE) maksimum güç limiti olan 4W'ta (36dBm),

802.11af Erişim Noktası (AP) ve Kullanıcısı (Client) ise maksimum 100mW'ta (20dBm) çalışmaktadır [4]-[5]. Anten yükseklikleri ise BS için 30m, CPE için 10m, AP ve Client'ları içinse 1m olarak seçilmiştir. [9]'daki çalışmada hem anten yükseklikleri hesaba katılmamış, hem de ITU'nun bina içi modeli dış mekan için kullanılmıştır. Bu çalışmada daha gerçekçi bir kanal modeli olarak Hata<sub>(rural)</sub> yol kayıp modeli kullanılmıştır. Bu model ile alınan sinyal güçleri, Hata<sub>(rural)</sub> modeli [10] ile şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$L' = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_t)$$

$$-a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d), \quad (1)$$

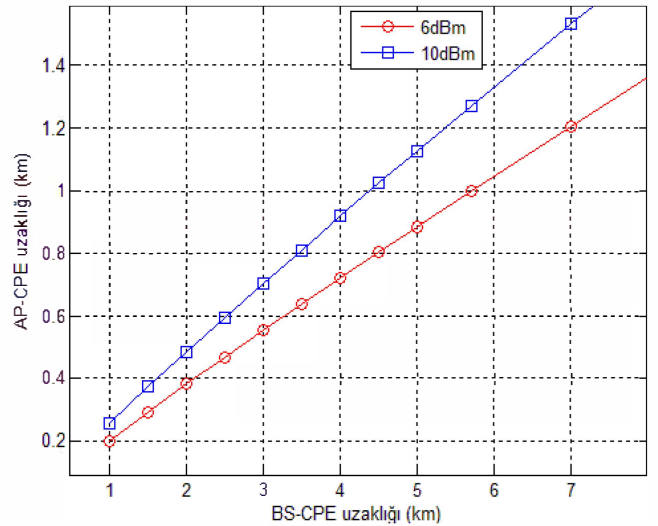
$$a(h_r) = 3.2(\log_{10}(11.75h_r))^2 - 4.97, \quad (2)$$

$$L = L' - 4.78[\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - K. \quad (3)$$

Denklem (1)'de kullanılan değerlerden  $h_t$  ve  $h_r$  verici-alıcı anten yüksekliklerini (m) belirtmektedir. Frekans değerini gösteren  $f$  (MHz), sistemin taşıyıcı frekansı olup 600 MHz alınmıştır. İki nokta arasındaki uzaklık  $d$  (km) ile gösterilmektedir. Kullanılacak yol kayıp modeli (3)'teki gibi alınmış ve  $K$  değeri kırsal bölge için 35.94 olarak seçilmiştir [10]. Böylece A noktasından B noktasına gelen sinyal seviyesi (4)'te, C noktasından B noktasına gelen sinyal seviyesi de (5)'te olduğu gibi hesaplanabilmektedir.

$$S_{A-B} = P_{BS} - L_{A-B} \quad (4)$$

$$S_{C-B} = P_{AP} - L_{C-B} \quad (5)$$



Şekil 2. Güvenli uzaklık değerleri

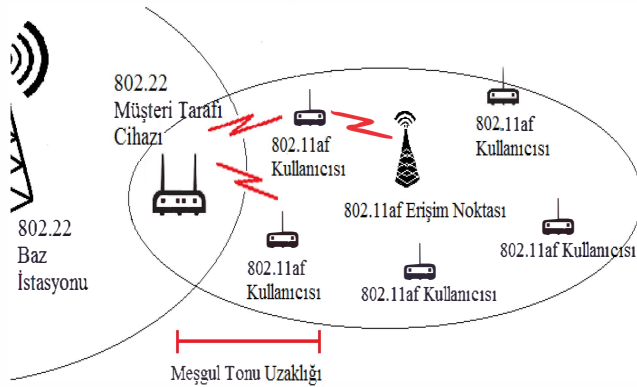
B noktası için SINR değeri hesaplanırsa,

$$SINR = S_{A-B} - S_{C-B}, \quad (6)$$

C noktasından ulaşan sinyal gücü girişim olarak kabul edilir. Buna göre 6dBm ve 10dBm için hesaplanan SINR eşik değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Cihazlar bu eşik değerlerine göre hesaplanan uzaklıklarda (veya daha uzakta) konumlanmalıdırlar. Aksi takdirde girişim eşikleri aşılacak ve paket kayıpları meydana gelecektir. Paket kayıplarını azaltmak için geliştirilen BT algoritmasının detayları bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

### B. BT Algoritması ile İkincil Kullanıcı Korunumu

Sistemde 802.22 BS ve CPE arasında veri akışı başladığı sırada, ortama CPE’deki ikinci anten tarafından sürekli bir şekilde BT sinyali gönderilmektedir. Oluşturduğumuz algoritmada (Algoritma 1) ilk olarak AP tarafından BT sinyali duyulursa diğer kullanıcılardan cevap beklenmeden frekansın terk edileceği söylenecektir. Bu aşamadan sonra AP’den kaynaklanan SINR değerine bakılır. Eğer bu değer 6dBm ya da 10dBm’den daha düşükse 802.22 CPE’de yalnızca 1 adet paket kaybı meydana getirecektir; aksi takdirde hiç paket kaybı yaşanmayacaktır. Eğer AP direkt olarak BT sinyalini duymadıysa kullanıcılarını dinlemeye başlar. 802.11af kullanıcılarından herhangi birisi BT sinyalini duyabiliyorsa bunu AP’ye iletmekle yükümlüdür. Bu yapı Şekil 3’te verilmiştir. Bundan sonraki aşamada o kullanıcıdan gelen sinyal gücüne göre SINR değeri hesaplanır. Ölçülen değer eşik değerlerinden düşükse 1 paket kaybı yaşanır, eğer yüksekse hiç paket kaybı yaşanmaz. Daha sonra ilk aşamada olduğu gibi AP için SINR değerlerine bakılır ve paket kaybına karar verilir. Burada özetlenen sistemin çalışma prensibi Algoritma-1’de sunulmuştur.



Şekil 3. BT mesafesini örgü (mesh) topolojisiyle destekleme

### Algoritma 1 BT ile ikincil kullanıcı girişimlerini azaltma

```

1: while BT=true
2:   if AP heard BT
3:     Measure SINR from AP to CPE;
4:     if Threshold_AP=true
5:       No Packet Loss and search new frequency;
6:     else
7:       1 Packet Loss and search new frequency;
8:     end if
9:   else Client heard BT
10:    Measure SINR from Client to CPE and tell AP
        that BT is present on the channel;
11:    if Threshold_Client=true
12:      No Packet Loss;
13:    if Threshold_AP=true
14:      No Packet Loss;
15:    else
16:      1 more Packet Loss due to AP;
17:    end if
18:  else
19:    1 Packet Loss;
20:    if Threshold_AP=true
21:      No Packet Loss;
22:    else
23:      1 more Packet Loss due to AP;
24:    end if
25:  end if
26: end if
27: end while

```

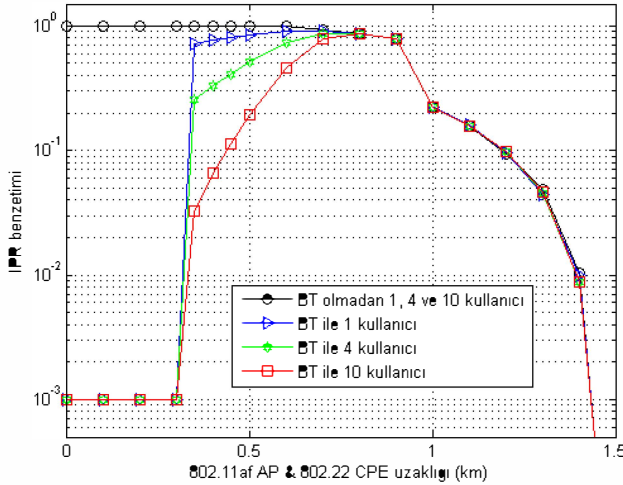
### III. SİSTEM PERFORMANSI

Oluşturduğumuz simülasyonda 802.22 BS ile CPE arasındaki uzaklık sabit kabul edilmiş olup 5.71km alınmıştır. Bu uzaklığa göre 802.11af AP veya Client’ları 6dBm eşik değeri için en az 1km uzaklıkta konumlanmalıdırlar. AP ve Client cihazları için kanal dinleme duyarlılığı (CCA), [5]’te verildiği üzere -68dBm, alıcı duyarlılıkları ise QPSK modülasyonu için -85dBm olarak belirlenmiştir. 802.11af iletişim uzaklığı (7)’deki gibi hesaplandığında maksimum 425m civarında olup, BT sinyalinin duyulma uzaklığı ise (8)’de hesaplanan değerler için gerçekleşecektir:

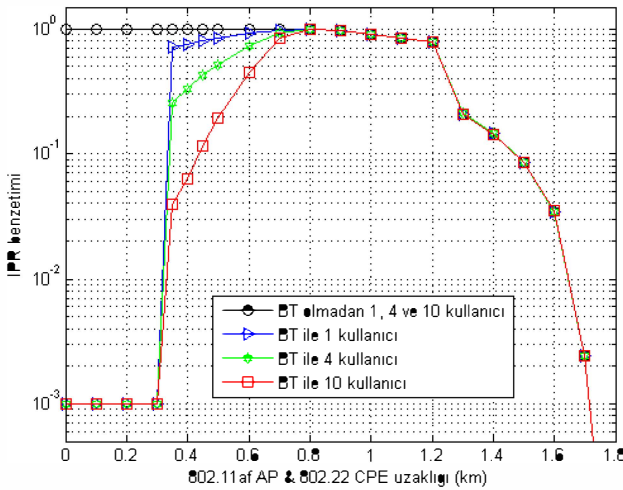
$$S_{AP} = P_{AP} - L_{AP-Client} \quad (7)$$

$$S_{BT} = P_{BT} - L \quad (8)$$

Buna göre BT sinyali yarıçapı yaklaşık 300m olan bir alanda duyulabilmektedir. Algoritma 1’de 802.11af ağı BT’nin duyulabildiği uzaklık aralıklarında veri aktarımını durdurarak, 802.22’nin paketlerinde en fazla 2 tane paket girişimi meydana getirecektir. Girişim yapan paket oranı (Interfering Packet Rate - IPR) olarak isimlendirdiğimiz



Şekil 4. 6dBm eşik değeri için IPR hesabı



Şekil 5. 10dBm eşik değeri için IPR hesabı

performans metriğinde, 802.22 BS'den CPE'ye toplamda 1.000 tane veri paketi geldiği varsayılmıştır. Aynı frekansta BT algoritması olmadan konuşan 802.11af AP ya da kullanıcıları eğer girişim eşik uzaklığının içindelerse, bütün paketlerde kayıp meydana getireceklerdir. Şekil 4 ve Şekil 5'te 6dBm ve 10dBm eşik değerleri için 720m'ye kadar bu değerler görünmekte olup bütün paketler kaybedilmiştir. Denklem (8)'de hesaplandığı üzere 300m'ye kadar AP istasyonu direkt olarak BT sinyal uzaklığında olduğundan, alınan bütün paketlerle oranlandığında sadece 1 paket girişimi meydana gelmiştir. AP istasyonunu uzaklaştıkça BT sinyalini duyamaz hale gelir ama kullanıcılarının duyma ihtimali olasılıksal olarak hala vardır. Bu olasılık 720m olan girişim değerine kadar gittikçe azalır. Bu değerden sonra BT sinyalini hiç bir kullanıcı duyamaz ve 802.11af ağı girişim bölgesinden çıkana kadar paket kayıpları meydana gelir. Diğer bir gözlem ise kullanıcı sayısı ile ilgilidir. Örgü topolojisinde kullanıcı sayısının artmasıyla beraber oluşacak girişimlerin azaldığı görülmektedir.

Simülasyonda kullanıcı sayısı maksimum 10 olarak alınmış ve bütün kullanıcıların tek bağlantı yoluyla IEEE 802.11af AP istasyonuna ulaştıkları varsayılmıştır. BT algoritmasıyla beraber IEEE 802.11af sisteminin kullanıcı sayısı ve aralarındaki bağlantı yolları artırılırsa, IEEE 802.22 sistemine yapacağı muhtemel girişimler doğru oranda azaltılmış olacaktır. Bu iyileştirme daha sonraki çalışmalarda incelenecektir.

#### IV.SONUÇ

Bu bildiriye TVWS'te çalışması öngörülen IEEE 802.11af WLAN ve IEEE 802.22 WRAN sistemlerinin aynı frekansı kullanarak oluşturacakları muhtemel girişimlerin ve paket kayıplarının IEEE 802.11af örgü topolojisi ve BT sinyali yardımıyla azaltılmasına çalışılmıştır. Önerilen algoritma ile 802.22 sistemlerine girişim yapan paket oranı hesaplanmış ve değişik bölgelerde ve kullanıcı sayılarındaki etkileri incelenmiştir. BT algoritması kullanılmaz ise ikincil kullanıcılar birbirlerinin varlığı hakkında bilgi sahibi olmayacak ve birincil kullanıcıların olmadığı her frekansta yayın yapmak isteyeceklerdir. Bu durumda her istasyon ve kullanıcı potansiyel bir girişim noktası durumuna gelecektir. Böylece ortama ulaşan ikincil kullanıcıların paketlerinde olası kayıplar yaşanacak ve verimli bir haberleşme sağlanamayacaktır.

#### KAYNAKÇA

- [1] Federal Communications Commission, Third Memorandum and Order, April 2012.
- [2] F. Hessari and S. Roy, "Capacity considerations for secondary networks in TV white space," *IEEE Trans. Mobile Computing*, DOI: 10.1109/TMC.2014.2374159, (to be published in 2015).
- [3] C. Sun, G.P. Villardi, Z. Lan, Y.D. Alemseged, H.N. Tran, and H. Harada, "Coexistence of secondary user networks under primary user constraints in TV white space". IEEE Wireless Commun. Networking Conf., pp. 2146-2150, Apr. 2012.
- [4] IEEE Std 802.22, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands, 2011.
- [5] IEEE Std 802.11af, IEEE Standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Television White Spaces (TVWS) Operation, 2013.
- [6] S.W. Oh and C.C. Chai, "Geo-location database with support of quality of service for TV white space," *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 3428 - 3433, Sep. 2013.
- [7] C.-S. Sum, M.-T. Zhou, L. Lu, F. Kojima and H. Harada, "Performance and coexistence analysis of multiple IEEE 802 WPAN/WLAN/WRAN systems operating in TV white space," *Proc. IEEE DYSpan*, Aug. 2014.
- [8] T. Baykas, M. Kasslin, M. Cummings, H. Kang, J. Kwak, R. Paine, A. Reznik, R. Saeed, and S.J. Shellhammer, "Developing a standard for TV white space coexistence: technical challenges and solution approaches," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 19, pp. 10-22, Feb. 2012.
- [9] X. Feng, Q. Zhang, and B. Li, "Enabling co-channel coexistence of 802.22 and 802.11af systems in TV white spaces", *Proc. IEEE ICC*, pp. 6040-6044, Jun. 2013.
- [10] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.