

# IEEE 802.11af ve 802.22 Sistemlerinin Uyumlu Çalışmaları için Meşgul Ton Tabanlı Güç Kontrolü

## Busy Tone Based Power Control for Coordination of IEEE 802.11af and 802.22 System

Oğuz Ülgen ve Serhat Erküçük  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Kadir Has Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
{oguz.ulgen, serkucuk}@khas.edu.tr

Onur Karatalay  
Electrical & Computer Engineering  
McGill University  
Montreal, QC, Canada  
onur.karatalay@mail.mcgill.ca

Tunçer Baykaş  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Medipol Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
tbaykas@medipol.edu.tr

**Özetçe**—Bu bildiri, IEEE 802.22 ve IEEE 802.11af kablosuz sistemlerinin TV beyaz boşluğunda uyumlu çalışabilmeleri için meşgul ton tabanlı yeni bir güç kontrol algoritması önerilmiştir. Daha önceki meşgul ton tabanlı çalışmalardan farklı olarak, 802.11af erişim noktası ve erişim noktasına bağlı kullanıcılar meşgul ton sinyalini algıladıktan sonra haberleşme güçlerini konum bilgilerine göre ayarlamakta ve gerekiyorsa iki hop üzerinden haberleşmektedirler. Böylelikle 802.22 sistemlerine yapılan girişim azaltılırken, 802.11af sistemlerinin haberleşmesi de mümkün kılınmaktadır. Bu çalışmada standartlara uygun haberleşme parametreleri ve kanal modelleri dikkate alınarak, 802.11af ve 802.22 sistemlerinin performansları paket girişim oranı ve başarılı paket oranı türlerinden farklı senaryolar altında incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — TV beyaz boşluğu; birlikte var olabilir; IEEE 802.22; IEEE 802.11af; meşgul ton; güç kontrolü.

**Abstract**— In this paper, a new power control algorithm based on busy tone approach has been proposed for the coordination of IEEE 802.22 and IEEE 802.11af systems in TV white space. Different from the earlier studies, in addition to both 802.11af access point and clients listening to the busy tone, they also adjust their communication power according to the location information and use hopping for communication, if needed. Accordingly, interference caused to 802.22 systems has been reduced while the 802.11af systems are still able to communicate. This study quantifies the 802.11af and 802.22 system performances in terms of interfering packet rate and succesful packet transmission rate for different scenarios considering the communication parameters and channel models adapted for the standards.

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

### I. GİRİŞ

2012 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde frekans tayfını düzenlemekle görevli Federal Communications Commission (FCC) tarafından alınan karar sonucunda, analog TV yayınlarından sayısal TV yayınlarına geçişte boşa çıkan frekans bantları ikincil kullanıcıların kullanmasına ayrılmıştır [1]. Bu frekans bandı TV Beyaz Boşluğu (TVBB) olarak adlandırılmakta (TV White Space – TVWS) ve 470 ile 790

MHz arasında yer almaktadır.

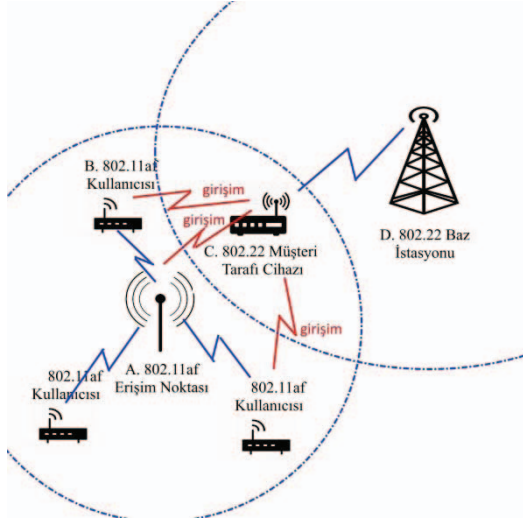
TVBB frekans bandının getirdiği geniş kapsama alanı ve duvar geçirgenlik kalitesinin yüksek olmasından dolayı, TVBB cihazlarını ve onların yapabilecekleri girişimleri düzenlemek için IEEE 802.19 standardı oluşturulmuştur. Bu standart sayesinde, TVBB sistemleri frekanslarını Coğrafi Konum Veritabanına (Geolocation Database – GLDB) bağlanarak dinamik bir şekilde ayarlamalı, TV yayınları ve hala bu bantta çalışan kablosuz mikrofonlara yapabilecekleri girişimleri engellemelidir [2]. Ancak bu standartta TVBB sistemlerinin birbirlerine yapabilecekleri girişimler ele alınmamış ve bu sorun kullanıcı tarafına bırakılmıştır. TVBB sistemleri farklı Fiziksel (Physical – PHY) ve Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control – MAC) katmanlarına sahip olduklarından birbirlerinin sinyallerini çözemeyecekler ve bu sinyaller girişim olarak algılanacaktır. Şekil 1'de gösterilen olası bir senaryodaki gibi 802.22 cihazları kendi aralarında geniş bir alanda haberleşirken, aynı frekans bandında çalışan 802.11af sistemindeki cihazlar da Müşteri Tarafı Cihazına girişim yapabileceklerdir. Bu durumda 802.11af sistemi, 802.22 sistemine gizli terminal olarak girişim oluşturacak ve her iki sistemde de paket kayıpları gerçekleşecektir.

Bu paket kayıplarını engellemek adına 802.22 Müşteri Tarafı Cihazı kendi baz istasyonunu dinlemeye geçmeden önce çalıştığı frekansta meşgul tonu yollayabilir. Bu bilgi sahte rastgele gürültü ya da sabit genlik sıfır otokorelasyon dalga formu dizisi (CAZAC sequence) olarak seçilip, PHY katmanı üzerinden, frekans bandının kullanıma ayrıldığı bilgisi diğer sistemlere iletilebilir. Önceki çalışmalarda [3]-[4] meşgul tonu 802.11af tarafından duyulduktan sonra, sistemin boş frekans bandı araması, eğer o bölgede başka boş frekans bandı yoksa haberleşmenin 802.11af tarafında tamamen durdurulması ele alınmıştır. Bu durumda 802.11af sistemi hiç bir şekilde haberleşmemekte ve veri iletimi gerçekleştirilememektedir. Bu çalışmada ise 802.11af ağı için başka boş frekans bandı olmadığı durumda yeni bir güç kontrol algoritması önerilmiş olup, 802.11af tarafında haberleşmenin durmasına gerek

olmadan, iki sistemin de başarılı paket olasılığının artırılabilceği gösterilmiştir

## II. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada 802.22 ve 802.11af sistemlerinin aynı frekansta yayın yaptıkları ve birbirlerine girişim yaratma ihtimalleri olduğu varsayılmıştır.



Şekil 1. 802.11af Kullanıcılarından Gizli Terminal Olarak Girişim

Şekil 1’de gösterildiği üzere A noktasında 802.11af erişim noktası (Access Point – AP) ve B noktasında 802.11af kullanıcı (K) yer almakta olup, 802.22 Müşteri Tarafı Cihazı (Customer Premises Equipment – CPE) C noktasında ve bağlı olduğu baz istasyonu D noktasında konumlanmıştır. Sistemlerin herhangi bir algoritma olmadan güvenli olarak konumlandırılmaları [3]’teki çalışmada olduğu gibi hesaplanmış ve minimum girişim eşik değeri 6 dBm olarak kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum verici güçleri 802.22 sistemi için 4W (36 dBm) ve 802.11af için 100 mW (20 dBm) olarak standartlar doğrultusunda belirlenmiştir [5] – [6]. Anten yükseklikleri, 802.22 BS ve CPE için 30m ve 10m olarak varsayılmış, 802.11af AP ve kullanıcı için de 1m olarak belirlenmiştir. Sistemler arasındaki yol kaybı modeli bu değerler dikkate alınarak, HATA<sub>RURAL</sub> yol kaybı modeli üzerinden hesaplanmıştır [7].

### A. Erişim Noktası ve Kullanıcı Güç Kontrolü

Yol kaybı değerlerinin yanı sıra Coğrafi Konum Veritabanı üzerinden AP, CPE ve kullanıcı konumları bilindiğinde güç kontrolü (GK) yapmak mümkündür. Tüm cihazların maksimum güçlerinde çalıştığı varsayılarak, yapılan hesaplamalar sonrası yeni güç ( $P_{new}$ ) Algoritma 1’deki gibi elde edilir.

**Algoritma 1** AP ve Kullanıcı için yeniden güç hesabı

```

1: while BT = true
2:   if AP ya da Kullanıcı BT sinyalinin duydu
3:     % $L_{AP-K}$  hesaplanır ;
4:      $P_{new} = \lambda_{sensing} + L_{AP-K}$ ;
5:   else
6:      $P_{new} = P_{AP}$ ;
7:   endif
8: endwhile

```

Algoritma 1’de kullanılan değerlerden  $P_{new}$  hesaplanan yeni gücü,  $P_{AP}$  AP için maksimum gücü,  $\lambda_{sensing}$  802.11af sistemleri için alıcı duyarlılığını ve  $L_{AP-K}$  ise AP-Kullanıcı arası yol kaybı değerlerini göstermektedir. (1)’de gösterildiği üzere bir kullanıcıya ulaşan güç değeri AP’nin verici gücünden yol kaybının çıkarılmasıyla bulunmaktadır. AP’nin, gücünü her kullanıcı için haberleşmeye devam etmesini sağlayacak minimum değere indirebilmesi için, kullanıcıya ulaşan güç minimum alıcı gücü değerinde olmalıdır. Bu durumda yeni elde edilecek minimum güç, minimum alıcı gücü ile AP-Kullanıcı arasındaki yol kaybı değerinin toplamıyla elde edilebilir. Yeni elde edilen değer eğer maksimum 802.11af kullanıcı veya AP gücünden fazlaysa, yeni güç maksimum 802.11af gücüne eşitlenir.

$$S_{AP-K} = P_{AP} - L_{AP-K} \quad (1)$$

Bu güç kontrolü sayesinde paket kayıplarını azaltmak için geliştirilen Meşgul Ton tabanlı güç kontrol algoritmasının detayları bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

### B. Güç Kontrol Algoritması ile 802.22 Sistemi Korunumu

802.22 Baz istasyonu ve CPE arasında haberleşme başladığında CPE ortama sürekli bir şekilde Meşgul Ton sinyali göndermektedir. Bu sinyal sayesinde 802.11af erişim noktası veya kullanıcı girişim bölgesinde olup olmadığını kestirebilmektedir. AP ve kullanıcıların herhangi birisinin BT sinyalini duyması durumunda Algoritma 1’de aktarıldığı üzere 802.11af sistemindeki AP ve kullanıcılar verici güçlerini aralarındaki uzaklığa ve kanal dinleme duyarlılığına bağlı olarak güncelleyeceklerdir.

Tek hop kullanılan durumda yeniden ayarlanan güç sonrası öncelikle AP-CPE arasındaki sinyal-girişim-oranı (Signal-to-Interference Ratio – SIR) ve tüm kullanıcılar için K-CPE arasındaki SIR’lar hesaplanır. Bu hesaplamalar sonrası eğer hesaplanan SIR değeri eşik değerinin altındaysa girişim yapan kullanıcı sayısı doğru orantılı olarak paket kaybı yaşanır, eğer üzerindeyse paket kaybı olmayacaktır. Meşgul Tonu eğer kullanıcılardan herhangi birisi tarafından duyulursa bu durumda da duyan kullanıcı erişim noktasına BT’yi duyduğunu iletir ve AP kendisi duymuş gibi kullanıcılarla arasındaki gücünü ayarlayacaktır.

Tek hop kullanıldığında haberleşme gerçekleşmeyebilir. Buna alternatif olarak çift hop kullanılabilir. Çift hop kullanılan durumda ise, yeniden ayarlanan güç sonrası hesaplanan SIR’lar yine tek hoptaki gibi eşik değerleriyle karşılaştırılır. Kullanıcılar için eğer SIR değeri eşik değerinin altında kalırsa, AP Algoritma 2’de gösterildiği şekliyle girişim yaratan kullanıcıya en yakın komşu (EYK) kullanıcıyı bulur. Bulunan EYK üzerinde kullanıcı ile haberleşmeye başlanır ve kullanıcı için tek hop kullanılan durumdaki gibi girişim hesaplamaları uygulanır. Burada özetlenen sistemin çalışma prensibi Algoritma 3’te gösterilmiştir.

**Algoritma 2** En Yakın Komşu Algoritması

```

1: if girişim = 1
2:   Tüm kullanıcılar yakınlığa göre sıraya dizilir
3:   for Kullanıcılar
4:     AP-Kullanıcı konuşabilmesi hesaplanır
5:     if haberleşme = 1
6:       En Yakın Kullanıcı = Kullanıcı

```

```

9:   endif
10:  EYK üzerinden Algoritma 1'e
11:  uygun kullanıcı için yeni güç hesaplanır
11:  endfor
12:  endif

```

### Algoritma 3 Güç Kontrol Algoritması

```

1:  while BT = true
2:  if AP ya da Kullanıcı BT sinyalini duydu
3:  AP tüm kullanıcılarla arasındaki gücü Algoritma
4:  1'e uygun olarak hesaplar;
5:  SIRAP-CPE hesaplanır;
6:  for Kullanıcılar
7:  SIRK-CPE hesaplanır;
8:  if SIRAP-CPE < λint
9:  %Muhtemel paket kaybı
10:  endif
11:  if HOP == 1
12:  if SIRK-CPE < λint
13:  %Muhtemel paket kaybı
14:  endif
15:  elseif HOP == 2
16:  if SIRK-CPE < λint
17:  Algoritma 2'ye uygun güç kontrolü
18:  yapılır
19:  if SIRK-CPE < λint
20:  %Muhtemel paket kaybı
21:  endif
22:  endif
23:  endif
24:  endfor
25:  endif
26:  endwhile

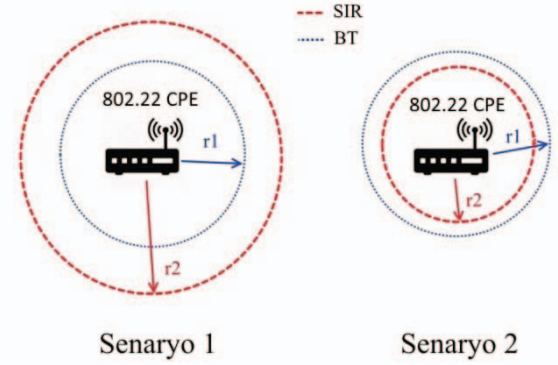
```

### III. SİSTEM PERFORMANSI

Sistem performansını ölçmek için iki senaryonun incelendiği bilgisayar benzetimleri oluşturulmuştur. Toplam 1000 paket gönderiminin varsayıldığı senaryolardan birincisinde BS-CPE arasındaki mesafe sabit olup 5.71 km iken, ikinci senaryoda BS-CPE arasındaki mesafe 1.26 km kabul edilmiştir. Bu uzaklıklar doğrultusunda 802.11af AP veya kullanıcıları 6dBm girişim eşik değeri için 1. senaryoda CPE'ye en yakın 1 km yarıçapında konumlanabilirlerken, 2. senaryoda bu değer 250 metreye düşmektedir. Her iki senaryo için 802.11af sisteminde AP, CPE'den kontrollü bir şekilde uzaklaştırılırken, kullanıcıları da tekdüze dağılım ile AP etrafında maksimum haberleşme uzaklıklarına göre dağıtılmışlardır. 802.11af sistemleri için Meşgul Tonu kanal dinleme duyarlılığı (CCA) [6]'da verildiği üzere -68dBm olarak alınmış, alıcı duyarlılıkları ise QPSK modülasyonu doğrultusunda sırasıyla 802.11af ve 802.22 için -91.3 dBm ve -85dBm olarak belirlenmiştir. 802.11af iletişim uzaklığı (1)'deki gibi hesaplandığında maksimum 425m'de olup, BT sinyalinin duyulma uzaklığı 300 m'dir. BT için hesaplanan güç değerinin CCA'dan büyük olan bütün değerleri için algoritmalar çalıştırılmıştır.

Sistem performansını değerlendirmek için Paket Girişim Oranı (PGO) ve Başarılı Paket Oranı (BPO) olarak iki metrik belirlenmiştir. PGO, belirli bir uzaklıkta alınan belirli örnek sayısı içerisinde 802.22 sistemine girişim yapan paket sayısının

toplam paket sayısına oranını göstermektedir. BPO ise 802.11af sisteminde, belirli bir uzaklıkta alınan belirli örnek sayısı içerisinde başarıyla iletilen paketlerin toplam gönderilmiş olan paketlere oranını vermektedir.



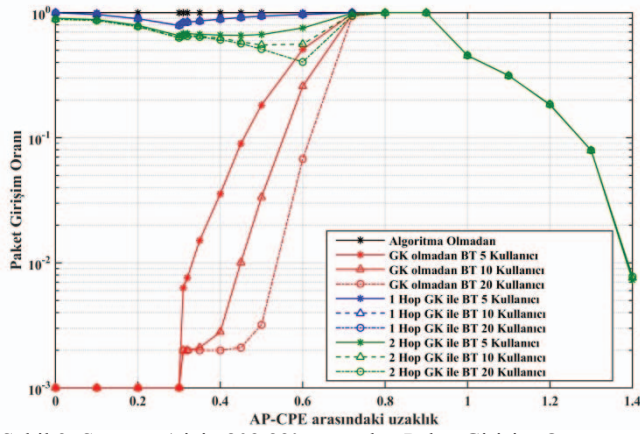
Şekil 2. Senaryo 1 ve Senaryo 2 için 802.22 Müşteri Tarafı Cihazına ait BT Alanı (r1) ve SIR Alanı (r2)

Her iki performans metriği ve önerilen güç kontrol algoritması Şekil 2'de görüldüğü üzere farklı SIR alanları için test edilmiştir. CPE tarafından her iki senaryoda da meşgul tonu  $r1 = 300$  metre yarıçaplı bir alana iletebilmekteyken, SIR alanı CPE-BS arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Birinci senaryo için SIR alanı yarıçapı  $r2 = 1$  km iken, 2. durum için SIR alanı yarıçapı  $r2 = 250$  metredir.

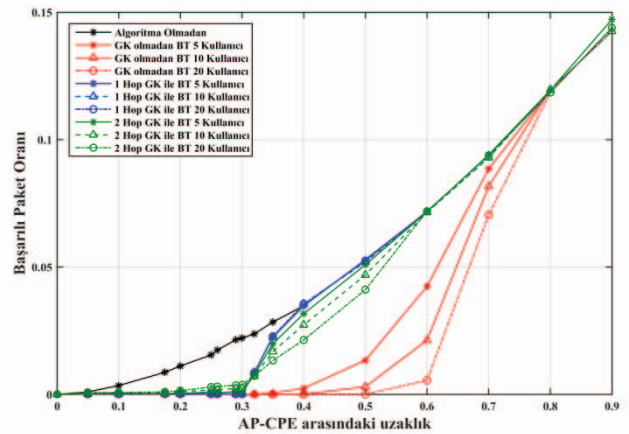
Senaryo 1 için bilgisayar benzetimi sonuçları GK olmadan ve tek hoplu/çift hoplu GK ile BT algoritması 5, 10 ve 20 kullanıcı olarak PGO performansı cinsinden Şekil 3'te verilmiştir. Toplam 1000 paketin kullanıldığı bilgisayar benzetimlerinde, GK olmadan BT sonuçlarında 300 metreye kadar PGO  $10^{-3}$  gözlemlenmiştir. Bunun nedeni bu noktaya kadar AP'nin BT'yi duyması ve tüm kullanıcıları susturmasıdır. Tek hoplu GK ile BT ve çift hoplu GK ile BT bu noktaya kadar haberleşmeye devam etmiştir ve çift hoplu GK ile BT, Şekil 4'te de görüldüğü üzere BPO'da 300 metreye kadar tek hoplu ve GK olmadan BT algoritmalarına göre başarılı performans göstermiştir. 300 metreden sonra AP BT'yi duymazken, kullanıcılar duymuştur ve 725 metreye kadar BPO artarak yükselmiştir. Bu noktadan sonra kullanıcılar ve AP BT'yi duyamayacağı için tüm değerler (hem BPO hem PGO için) birbirlerine eşitlenmiştir. Tek hoplu GK ile BT algoritması için kullanıcı sayısındaki değişim performansı etkilememektedir. Bunun nedeni kullanıcılara ayrılan toplam haberleşme süresinin kullanıcı sayısından bağımsız olmasıdır. Çift hoplu algoritmada ise PGO performans artışının kullanıcı sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Senaryo 2 için bilgisayar benzetimi sonuçları GK olmadan ve tek hoplu/çift hoplu GK ile BT algoritması 5, 10 ve 20 kullanıcı olarak PGO performansı cinsinden Şekil 5'te verilmiştir. Tek hoplu ve çift hoplu GK ile BT algoritmalarıyla 0 m'den 175 metreye kadar PGO'da düşüş gözlemlenmiştir. SIR alanının 250 metre yarı çaplı, 802.11af sisteminin ise 425 metre yarı çaplı olmaları sebebiyle, AP CPE'ye 175 metre mesafeye kadar başarılı bir şekilde GK yapabilmektedir. 175 metreden 300 metreye kadar ise kullanıcıların girişimleri nedeniyle PGO'da az da olsa bir miktar artış görülmüştür.

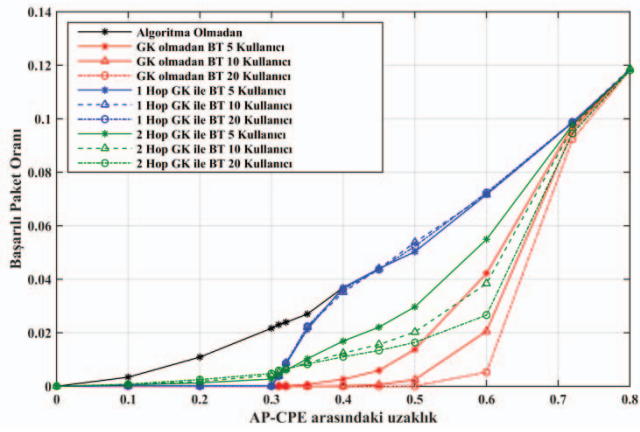




Şekil 3. Senaryo 1 için 802.22'ye yapılan Paket Girişim Oranı



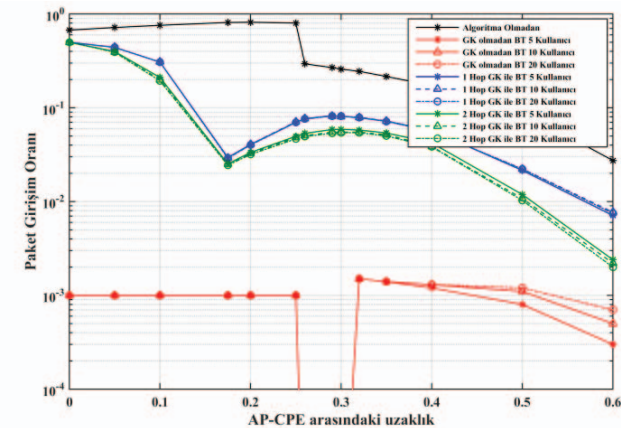
Şekil 6. Senaryo 1 için 802.11af'nin Başarılı Paket Oranı



Şekil 4. Senaryo 1 için 802.11af'nin Başarılı Paket Oranı

Diğer taraftan Şekil 6'da görüldüğü üzere çift hoplu GK ile BT algoritması için 175 m'den sonra BPO'da iyileşme görülmüştür. 300 m'den sonra ise AP BT'yi duymadığı için tek hoplu GK ile BT algoritması çift hopluya göre daha iyi performans sergilemiştir.

Önerilen algoritmayla 802.11af kesintisiz haberleşmeye devam edeceği için GK olmadan BT algoritmasının ulaştığı PGO alt değerlerine ulaşamamaktadır, ancak BPO'da GK olmadan BT algoritmasında 0 paket başarısı olan uzaklıklarda bile başarılı paket iletimi gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 5. Senaryo 2 için 802.22'ye yapılan Paket Girişim Oranı

#### IV. SONUÇ

Bu bildiri TVBB'de 802.22 ve 802.11af sistemlerinin uyumlu çalışmaları için daha önceki çeşitli çalışmalarda kullanılmış olan çözümlerden farklı olarak Meşgul Ton ve Güç Kontrolü birlikte ele alınmıştır. Bu yaklaşımla Paket Girişim Oranı azaltılırken aynı zamanda her iki sistem de haberleşmeye devam edebilmiştir. Bu çalışmada ele alınan tek hoplu ve çift hoplu haberleşmeye ek olarak, hem 802.22 tabanlı hem de 802.11af tabanlı sistemlerin daha verimli çalışabilmeleri için çoklu hop yapan yaklaşımlar önerilebilir.

#### BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada Serhat Erküçük'ün çalışması TT Collaborative Research Awards programı kapsamında Türk Telekom/Argela tarafından, Tunçer Baykaş'ın çalışması ise TÜBİTAK 2232 programı tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Federal Communications Commission, Third Memorandum and Order, Apr. 2012.
- [2] T. Baykas, v.d., "Developing a standard for TV white space coexistence: technical challenges and solution approaches," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 19, pp. 10-22, Feb. 2012.
- [3] O. Karatalay, S. Erkuçuk, T. Baykas, "Analysis of extended busy tone performance for coexistence between WRAN and WLAN TVWS networks," *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 1957-1962, Aug. 2015.
- [4] 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.
- [5] IEEE Std 802.22, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control and Physical Layer specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands, 2011.
- [6] 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 and Physical Layer Specifications Amendment 5: TVWS Operation, 2013.
- [7] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.