

IEEE 802.11af ve IEEE 802.22 Sistemlerinin Birlikte Varolabilmeleri için Yeni Bir Yaklaşım

A New Approach for Coexistence of IEEE 802.11af and IEEE 802.22 Systems

Oğuz Ülgen
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Kadir Has Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
oguz.ulgen@khas.edu.tr

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

Serhat Erküçük
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Kadir Has Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
serkucuk@khas.edu.tr

Özetçe —Bu bildiri, birden fazla teknik kullanılarak IEEE 802.11af ve IEEE 802.22 kablosuz sistemlerinin TV beyaz boşluğunda birlikte varolabilmeleri için algoritmalar geliştirilmiştir. Meşgul tonu, güç kontrolü ve çok sekmeli haberleşme teknikleri kullanılarak daha önce yapılan çalışmalar temelinde iyileştirmeler yapılmıştır. IEEE 802.22 sistemlerinin korunumu birinci planda yer alırken, aynı zamanda IEEE 802.11af sistemlerinin de haberleşmeye devam etmesi sağlanmıştır. Standartlara uygun haberleşme parametreleri ve kanal modelleri kullanılan bu çalışmada, her iki sistemin de paket girişim oranları ve başarılı paket oranları farklı senaryolar için incelenmiş ve iyileştirilmiş sonuçlar ortaya konulmuştur.

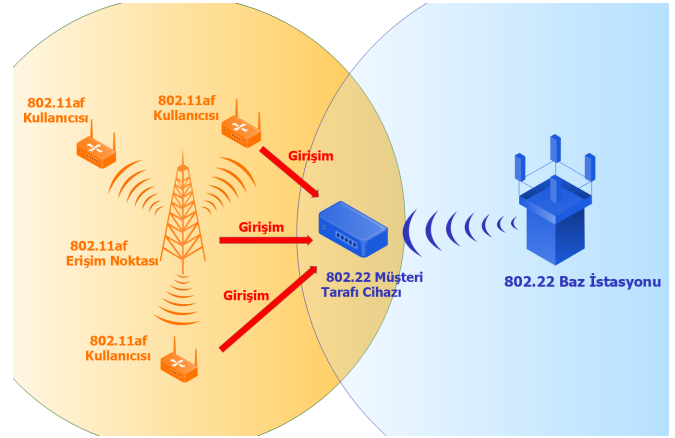
Anahtar Kelimeler—TV beyaz boşluğu, IEEE 802.11af, IEEE 802.22, güç kontrolü, meşgul tonu

Abstract—In this paper, various algorithms are proposed to help IEEE 802.11af and IEEE 802.22 wireless systems to coexist in TV white space by considering multiple techniques. By using busy tone, power control and multihop communication techniques, improvements have been made compared to prior approaches. With this approach, while IEEE 802.22 systems are protected from intra-network interference, IEEE 802.11af systems are still able to continue transmitting packets. Considering the communication parameters and channel models compliant for the standards, IEEE 802.11af and IEEE 802.22 system performances are investigated in terms of interfering packet rate and successful packet transmission rate for different scenarios and the improved results are presented.

Keywords—TV white space, IEEE 802.11af, IEEE 802.22, power control, busy tone

I. GİRİŞ

TV Beyaz Boşluğu (TVBB), televizyon yayınlarının analog yayından dijital yayına geçmesiyle beraber oluşan frekans boşluğuna verilen isimdir [1]. Bu frekans bandı 470 MHz ile 790 MHz arasında bulunmaktadır. TVBB'nin duvar geçirgenlik kalitesinin yüksekliği ve geniş kapsama alanı özellikleri kısa sürede bu bantta standartların geliştirilmesine sebep olmuştur [2], [3]. IEEE 802.19 standardıyla beraber TVBB cihazları belirlenmiş ve ayrıca olası girişimler düzenlenmiştir [4]. Ancak IEEE 802.11af ve IEEE 802.22 cihazları arasındaki girişimler bu düzenleme ile tam olarak çözülememiştir. Bu iki sistem farklı katmanlarda haberleşmekte ve birbirlerinin sinyallerini



Şekil 1: Gizli terminal problemi.

çözememekte oldukları için, sinyalleri birbirlerine girişim olarak algılanmakta ve Şekil 1'de görülebileceği gibi "gizli terminal" problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda her iki sistem için de paket kayıpları yaşanmakta ve haberleşme her iki sistemde de sekteye uğramaktadır.

"Super Wi-Fi" olarak da bilinen IEEE 802.11af, IEEE 802.11 standardının TVBB için uyarlanmış halidir. Bu sistemde cihazların bilişsel fonksiyonları kanal gücü kontrolü (Channel Power Management) ve dinamik istasyon yetkilendirmesi (Dynamic Station Enablement) ile desteklenmektedir [5]. IEEE 802.22 ise kırsal bölgelerde kablosuz haberleşmeye yardımcı olması amacıyla geliştirilmiş bir TVBB standardıdır. Baz istasyonu ve müşteri tarafı cihazı (Customer Premises Equipment - CPE) arasındaki mesafeye göre kapsama alanı değişen sistem birçok özelliğe sahiptir. Özellikle müşteri tarafı cihazı tarafından ortama gönderilebilen meşgul tonu (Busy Tone - BT) girişim engellemeleri için bir seçenek olarak görülmektedir [6].

Önceki çalışmalarda bu iki sistemin bir arada bulunduğu ortamlarda girişimlerin engellenmesi adına çeşitli teknikler denenmiştir. Bu çalışmaların ilkinde iki sistemin bir arada bulunduğu durumlarda sistem performansları bilgisayar benzetimleri aracılığıyla ölçülmüştür [7]. Bir başka çalışmada otonom spektrum paylaşımı üzerinde durulmuştur [8]. Sonraki dönemde meşgul tonu kullanılarak algoritmalar geliştirilmiştir

[6], [9]. Bu çalışmalarda önerilen çözümlerin üzerine [10]'da meşgul tonu ile birlikte önerilen güç kontrolü algoritmasıyla iyileştirmeler sağlanmıştır. Fakat bu sağlanan iyileştirmeler IEEE 802.22 sistemlerinin korunumu konusunda yetersiz kalmış, ayrıca IEEE 802.11af sistemlerinin başarılı paket oranlarını yeterli oranda arttıramadığı da gözlenmiştir. Bu nedenle IEEE 802.22 sistemlerinin paket kayıplarının en aza indirgenmesi ve IEEE 802.11af sistemlerinin haberleşmeye devam edebilmeleri her iki sistem için de iyileştirme sağlayacaktır.

Bu çalışmada önceki çalışmalarda ([9] ve [10]) denenmiş olan meşgul tonu ve güç kontrolü algoritmalarının bir kombinasyonu gerçekleştirilmiş ve sonucunda IEEE 802.22 sistemlerinin paket kayıpları azaltılmış ve IEEE 802.11af sistemleri haberleşmeye devam edebilmiştir.

Bildirinin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde sistem modeli detaylarıyla anlatılmış ve algoritmalar sunulmuştur. 3. Bölümde sistem performansı ve bilgisayar benzetimi sonuçları sunulmuştur. 4. Bölümde bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ortaya konulmuş ve gelecek çalışmalar için önerilerden bahsedilmiştir.

II. SİSTEM MODELİ

A. IEEE 802.22 ve IEEE 802.11af Sistemleri

Bu bildiriye Şekil-1'de görüleceği üzere, baz istasyonu ve müşteri tarafı cihazı IEEE 802.22 sistemleridir. [9]'daki çalışma baz alınarak sistemin girişim eşik değeri 6 dBm olarak kabul edilmiştir. Maksimum verici gücü ise 4 Watt (36 dBm) olarak standartlarda olduğu gibi kabul edilmiştir. Anten yükseklikleri baz istasyonu için 30 metre, müşteri tarafı cihazı için 10 metre olarak kabul edilmiştir [11]. Müşteri tarafı cihazının ayrıca, ortamda bulunacak IEEE 802.11af sistemlerinin girişimini engellemek adına, ortama meşgul tonu sinyali yaydığı bilinmektedir.

Şekil-1'de erişim noktası (Access Point - AP) ve kullanıcılar IEEE 802.11af sistemleridir. Standartlarda belirtildiği üzere en yüksek verici gücü hem erişim noktası hem de kullanıcılar (clients - C) için 100 mW (20 dBm) olarak kabul edilmiştir [12]. Hem erişim noktası hem de kullanıcıların anten yükseklikleri 1 metre olarak kabul edilmiştir. Kullanıcılar AP etrafına düzgün dağılım kullanılarak dağıtılmıştır.

B. Birlikte Varolabilme

Önceki çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda [9] ve [10]'daki algoritmalar IEEE 802.11af ve IEEE 802.22 sistemlerinin birlikte varolabilmelerine yardımcı olmaktadır. IEEE 802.22 sistemlerinin korunumu birincil öncelik olarak kabul edildiğinde, ortamda bulunacak IEEE 802.11af sistemlerinin girişimini engellemek adına [9]'da IEEE 802.22 CPE'sinin ortama BT yaydığı ve bu sinyalin varlığından haberdar olan IEEE 802.11af sistemlerinin başka bir bant aradığı, ve eğer boşta bir frekans bandı bulunamazsa haberleşmeyi kestiği görülmektedir. Bu yaklaşım IEEE 802.22 sistemlerine paket girişimini azaltma konusunda başarılı olurken, IEEE 802.11af sistemlerinin haberleşebilmesi için olumsuz sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu problemin çözümü için [10]'da önerilen algoritmada ise IEEE 802.11af sistemleri meşgul tondan haberdar olunca haberleşmeye devam edip, güçlerini IEEE 802.22 sistemlerine olabildiğince az girişim yapacak şekilde azaltmaktadır. Bu IEEE 802.11af sistemlerinin haberleşmesi için olumlu iken IEEE 802.22 sistemlerinin korunumu için pek fayda sağlayamamaktadır.

O halde IEEE 802.11af sistemleri meşgul tonu duyup güç kontrolü yaptıklarında, IEEE 802.22 sistemlerine girişim oluşturacaklarsa [9]'da olduğu gibi haberleşmeyi keserlerse, hem IEEE 802.22 sistemlerine yapılacak girişim en aza indirgenmiş, hem de diğer durumlar için IEEE 802.11af sistemlerinin haberleşmesi devam etmiş olacaktır.

C. Güç Kontrolü

Sistemler arasındaki yol kayıpları $HATA_{rural}$ yol kayıp modeli üzerinden hesaplanmıştır [13]. Bu durumda eğer meşgul tonu AP tarafından duyulursa, yeni hesaplanacak güç, CPE'ye BS'ten ulaşacak sinyal gücü AP tarafından bilinmeyeceğinden dolayı deneysel olarak, AP ve güç kontrolünün yapılacağı kullanıcı arasındaki yol kaybı L_{AP-C} , girişim eşik değeri λ_{int} ve AP'ye ulaşan CPE sinyalinin gücü S_{CPE-AP} cinsinden her bir kullanıcı için ayrı ayrı olmak üzere :

$$P_{TX} = L_{AP-C} + \lambda_{int} + S_{CPE-AP} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Bu deneysel yaklaşımla AP veya kullanıcı güçleri en yüksek verici güçlerinin altına düşürülmüş, en yüksek verici gücünden fazla çıkan değerler için ise AP veya kullanıcı haberleşmeyi kesmiştir. Bu yaklaşımla ilgili iyileştirilmiş sonuçlar bir sonraki bölümde sunulmuştur. Diğer taraftan meşgul tonu kullanıcı tarafından duyulursa ise S_{CPE-AP} yerine CPE'den kullanıcıya ulaşan sinyalin gücü S_{CPE-C} kullanılacaktır. Bu yaklaşım Algoritma 1'de verilmiştir.

Algoritma 1 Güç Belirleme Algoritması

```

1: while PC = true do
2:   if cihaz = AP then
3:      $P_{TX} \leftarrow L_{AP-C} + \lambda_{int} + S_{CPE-AP}$ 
4:   else
5:     if cihaz = Kullanıcı then
6:        $P_{TX} \leftarrow L_{AP-C} + \lambda_{int} + S_{CPE-C}$ 
7:   if  $P_{TX} > 20 \text{ dBm}$  then
8:      $P_{TX} \leftarrow \text{none}$ 

```

IEEE 802.11af sistemlerinin IEEE 802.22 sistemlerine girişimi, sinyal girişim oranıyla (Signal-to-Interference Ratio - SIR) belirlenir. IEEE 802.22 CPE'sine baz istasyonundan ulaşan sinyal gücü S_{BS-CPE} ve IEEE 802.11af sistemlerinden ulaşan sinyal gücü S_{AP-CPE} veya S_{C-CPE} olmak üzere, SIR'lar şu şekilde hesaplanır :

$$SIR_{CPE-AP} = S_{BS-CPE} - S_{AP-CPE} \quad (2)$$

$$SIR_{CPE-C} = S_{BS-CPE} - S_{C-CPE} \quad (3)$$

Birlikte Varolabilme altbölümünde önerilenler göz önüne alındığında ise Algoritma 2'de çözüm gösterilmektedir.

D. Çok Sekmeli Haberleşme

Güç kontrolü yapılmasına karşın yeterli paket girişim oranı (PGO) ve başarılı paket oranı (BPO) değerlerine ulaşılamaz. Bu durumda iyileştirme yapılması için bir başka yaklaşım çok sekmeli haberleşmedir. Kullanıcılar Algoritma 3 ile birlikte kendilerine en yakın komşularını tespit etmektedir.

Algoritma 4 uygulanarak da en yakındaki haberleşilebilen kullanıcı tespit edilip röle olarak davranması sağlanır. Böylece kullanıcı diğer bir kullanıcı üzerinden AP ile haberleşmeye geçer ve paket kazancı sağlanırken çarpışma sayısı azaltılabilir.

Algoritma 2 Güç Kontrol Algoritması

```
1: while BT = true do
2:   if AP BT'yi duyarsa then
3:     AP gücünü Güç Belirleme Algoritmasına
       göre ayarlar
4:     AP-CPE arasındaki SIR hesaplanır
5:     Kullanıcılar-CPE arasındaki SIR hesaplanır
6:     if  $SIR_{CPE-AP} < \lambda_{int}$  then
7:       1 paket kaybı
8:     if  $SIR_{CPE-C} < \lambda_{int}$  then
9:       1 paket kaybı daha
10:  if C BT'yi duyarsa then
11:    Kullanıcı AP'yi BT sinyali hakkında bilgilendirir
12:    Kullanıcılar ve AP güçlerini ayarlar
13:    AP-CPE arasındaki SIR hesaplanır
14:    Kullanıcılar-CPE arasındaki SIR hesaplanır
15:    if  $SIR_{CPE-AP} < \lambda_{int}$  then
16:      1 paket kaybı
17:    if  $SIR_{CPE-C} < \lambda_{int}$  then
18:      1 paket kaybı daha
```

Algoritma 3 En Yakın Komşu Algoritması

```
1: for kullanıcılar do
2:   Kullanıcıların konum bilgileri alınır
3:   for kullanıcı konumları do
4:     Kullanıcılar uzaklığa göre sıralanır ve kaydedilir
```

III. SİSTEM PERFORMANSI

Sistem performansının ölçümü için iki genel senaryo ele alınmıştır. Şekil 2'de gösterilen iki senaryoda değiştirilen IEEE 802.22 baz istasyonu ve müşteri tarafı cihaz arasındaki mesafedir. Bu çalışmada yol kayıpları hesaplanırken taşıyıcı frekansının 600 MHz olduğu kabul edilmiştir.

Senaryo-1'de BS ve CPE arasındaki mesafe 5.71 km olmakla birlikte bunun sonucu olarak, CPE etrafında $R_2 = 1$ km girişim mesafesi oluşmaktadır. BT duyulma mesafesi ise $R_1 = 300$ metredir. Senaryo-2'de BS ve CPE arasındaki mesafe bu sefer 1.26 km olmakta, ve sonucunda CPE etrafında $R_2 = 250$ metrelik bir girişim mesafesi oluşmaktadır. BT mesafesinde ise bir değişim olmamaktadır.

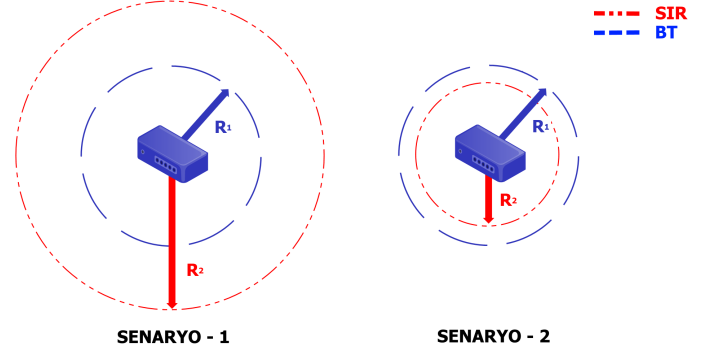
IEEE 802.11af sistemleri için alıcı duyarlılıkları standartlar doğrultusunda -85 dBm olarak kabul edilmiştir. Bunun sonucunda AP etrafında 425 metre yarıçaplı bir alanda kullanıcılar düzgün dağılımla haberleşmek için bulunmaktadır.

Senaryo-1 göz önünde bulundurularak koşulan bilgisayar benzetimleri sonucunda TABLO I'de 100 mW ile haberleşmekte olan IEEE 802.11af sistemlerinde örnek olarak seçilmiş bazı kullanıcıların yeni güçleri gösterilmektedir. Görüleceği üzere %2'ye kadar düşürülen güçler mevcuttur.

Senaryo-1'e ait PGO ve BPO sonuçları [9] ve [10]'daki algoritmalarla karşılaştırmalı olarak Şekil 3 ve Şekil 4'te

Algoritma 4 Çok Sekmeli Haberleşme Algoritması

```
1: for kullanıcılar do
2:   En Yakın Komşu Algoritması Çalışır
3:   En Yakın Komşular bir listede tutulur
4:   for en yakın komşular do
5:     Kullanıcıyla haberleşme kontrol edilir
6:     if Haberleşme = true then
7:       En yakın kullanıcı röle olarak davranır
8:       Güç Kontrol Algoritması koşulur
```



Şekil 2: Benzetimlerde kullanılan farklı R_1 ve R_2 değerleri için iki senaryo.

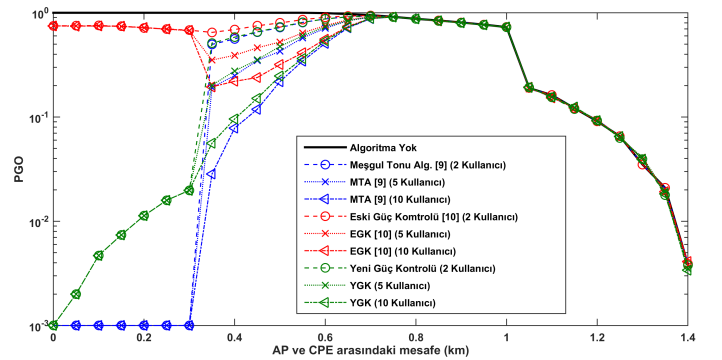
TABLO I: Güç kontrol tablosu.

AP - CPE mesafesi (metre)	AP - Kullanıcı Mesafesi (metre)	Yeni Güç (mW)
50	6	2.26
50	15	55.08
100	17	23.48
150	37	77.8
200	49	79.5
250	41	37.4
300	42	14.8

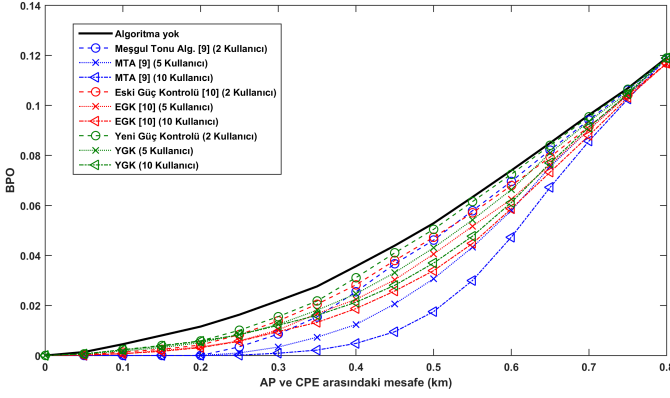
gösterilmektedir. Şekil 3'te yeni güç kontrolü algoritmasının 300 metreye kadar algoritma olmayan duruma ve eski güç kontrolü algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Bu bölge BT'nin AP tarafından duyulduğu bölgedir. Bunun yanı sıra Şekil 4'te görülebileceği üzere yeni güç kontrolü algoritması sayesinde BPO eski güç algoritmasına kıyasla artmaktadır.

Senaryo-2'ye ait PGO ve BPO sonuçları [9] ve [10]'daki algoritmalarla karşılaştırmalı olarak Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir. Senaryo-2'de de Senaryo-1'de olduğu gibi PGO, algoritma olmayan duruma ve eski güç algoritmasına göre azalmakta, BPO ise eski güç algoritması ve sadece meşgul tonu kullanılan duruma göre artmaktadır.

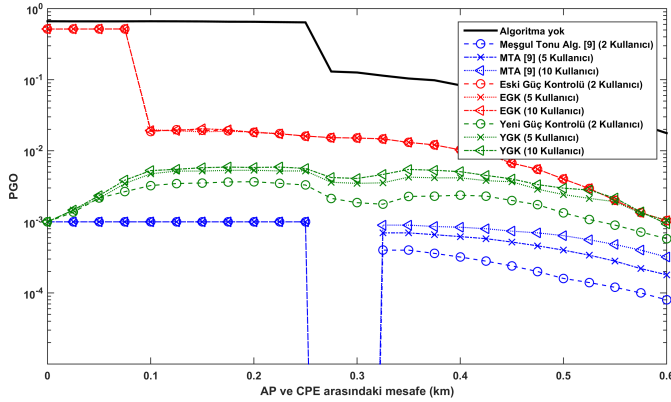
Senaryo-1 için aynı zamanda çok sekmeli haberleşme bilgisayar benzetimleri koşulmuştur. 20 kullanıcıya kadar koşulan bilgisayar benzetimleri sonucu göstermiştir ki çok sekmeli haberleşme PGO'da az bir kazanç sağlamakta, BPO'da ise



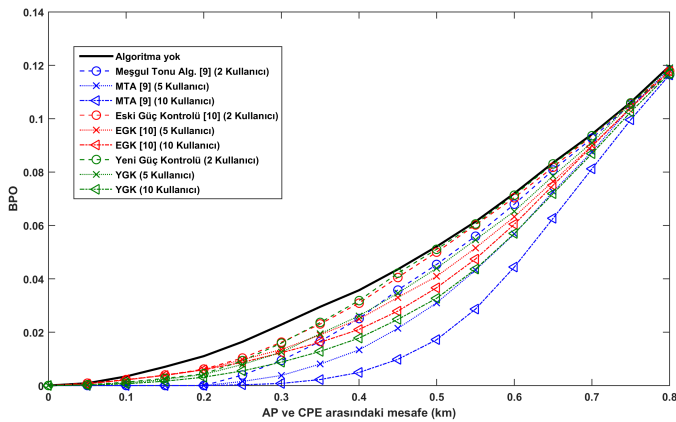
Şekil 3: Senaryo-1 için IEEE 802.22 sistemlerine ait paket girişim oranı.



Şekil 4: Senaryo-1 için IEEE 802.11af sistemlerine ait başarılı paket oranı.



Şekil 5: Senaryo-2 için IEEE 802.22 sistemlerine ait paket girişim oranı.



Şekil 6: Senaryo-2 için IEEE 802.11af sistemlerine ait başarılı paket oranı.

kullanıcı sayısı artışı ile kazanç miktarı artmaktadır. Bilgisayar benzetimlerinde çok sekmeden kasıt iki sekmeli haberleşme kullanılması olup, ikiden fazla sekme için performans iyileştirilmesi için araştırma konusudur.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada IEEE 802.11af ve IEEE 802.22 sistemlerinin bir arada bulunabilme durumları için meşgul ton tabanlı yeni bir güç kontrol algoritması geliştirilmiştir. İki farklı senaryoda bilgisayar benzetim sonuçları sunulmuş ve güç kontrolü tabanlı çok sekmeli haberleşme algoritması için de yorumlarda bulunulmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki yeni geliştirilen algoritmalar ile IEEE 802.22 sistemlerinin korunumu ve IEEE 802.11af sistemlerinin haberleşmeye devam edebilmesi için iyileştirilmiş sonuçlar elde edilmiştir. Gelecek çalışmalarda daha gerçekçi kanal modellerinin yanı sıra matematiksel analizler yer alacaktır. Aynı zamanda bu çalışmada kullanılan çok sekmeli haberleşme için ikiden fazla sekme için performans da incelenecektir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada Serhat Erküçük'ün çalışması TT Collaborative Research Awards programı kapsamında Türk Telekom/Argela tarafından, Tunçer Baykaş'ın çalışması ise TÜBİTAK 2232, No:115C136 programı tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] FCC 10-174, Second Memorandum Opinion and Order, 2010.
- [2] M. J. Marcus, "Unlicensed cognitive sharing of TV spectrum: The controversy at the Federal Communications Commission," IEEE Commun. Mag. vol. 43, no 5, pp. 24-25, May 2005.
- [3] IEEE Std 802.19.1, IEEE Standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 19: TV White Space Coexistence Methods, 2014.
- [4] 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.
- [5] D. Lekontsev, R. Maršálek, Comparison of 802.11af and 802.22 standards - physical layer and cognitive functionality, Elektrevue, vol. 3, no. 2, Jun. 2012.
- [6] X. Feng, Q. Zhang, and B. Li, "Enabling co-channel coexistence of 802.22 and 802.11 af systems in TV white spaces", Proc. IEEE ICC, pp. 6040-6044, Jun. 2013.
- [7] H. Kang, D. Lee, B.-J. Jeong, and A. Kim, "Coexistence between 802.22 and 802.11af over TV White Space," in IEEE ICTC, 2011.
- [8] M. Nekovee, "Autonomous spectrum sharing in heterogeneous White Space networks" in IEEE IC-NIDC, 2012.
- [9] O. Karatalay, S. Erküçük, and T. Baykaş, "Analysis of extended busy tone performance for coexistence between WRAN and WLAN TVWS networks," Proc. IEEE PIMRC, pp. 1957-1962, Aug. 2015.
- [10] O. Ülgen, O. Karatalay, T. Baykaş and S. Erküçük, "Busy Tone Based Power Control for Coordination of IEEE 802.11af and 802.22 System," in IEEE Signal Process. and Commun. Appl. Conf. (SIU), May 2017.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.