

# BİLİŞSEL RADYO AĞLARINDA ENERJİ TESPİTİ İLE SPEKTRUM ALGILAMA

## ENERGY DETECTION-BASED SPECTRUM SENSING IN COGNITIVE RADIO NETWORKS

*Anıl Merve Ay<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> TOFAS Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. ARGE Merkezi, Bursa, Türkiye  
anil.merveay@tofas.com.tr

### ABSTRACT

Wireless communication technologies have been prepared and used with the principle of fixed spectrum assignment up to date. According to the fixed spectrum assignment principle, the specific frequency band is allocated only to the primary (licensed) users and cannot be allocated to the secondary (unlicensed) user even if it is not used by the primary users. This principle leads to inefficient use of the frequency spectrum. Today, with the continuous development and widespread use of wireless communication technologies, the limited frequency spectrum is inadequate. Cognitive Radio Technology aims to use the frequency spectrum efficiently by using dynamic spectrum access technique. In this study, simulation environment analysis of the Cognitive Radio Technology with Energy Detection Method which detects the free frequency bands by spectrum sensing is given and results are shared.

**Keywords:** cognitive radio, wireless communication, spectrum

### Özet

Bugüne kadar kablosuz iletişim teknolojileri sabit spektrum atama prensibi ile hazırlanmış ve kullanılmıştır. Sabit spektrum atama prensibine göre belirli frekans bandı sadece birincil (lisanslı) kullanıcılara ayrılmakta, birincil kullanıcılar tarafından kullanılmıyor olsa dahi ikincil (lisanssız) kullanıcıya tahsis edilememektedir. Bu ilke, frekans spektrumunun verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Günümüzde kablosuz iletişim teknolojilerinin devamlı gelişmesi ve yaygın kullanımıyla beraber, sınırlı olan frekans spektrumu yetersiz kalmaktadır. Bilişsel Radyo Teknolojisi, dinamik spektrum erişim tekniğini kullanarak frekans spektrumun verimli kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu bildiride Bilişsel Radyo Teknolojisi ile boş frekans bandları tespit edilerek birincil kullanıcılar tarafından kullanılmayan bandların ikincil kullanıcılara tahsis edilmesi, Enerji Tespiti ile Spektrum Algılama Yöntemi kullanılarak simülasyon ortamında incelenmiş ve sonuçları verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** bilişsel radyo, kablosuz haberleşme, spektrum

### 1. GİRİŞ

Bilişsel Radyo, kullanıcıların dinamik spektrum erişim teknikleriyle mümkün olan en iyi kanalı kullanmalarını sağlayan ve kullanıcıların spektrumları fırsatçı olarak kullanmalarını veya paylaşmalarını sağlayan yeni bir teknolojidir. Bilişsel Radyo, kullanıcıları birincil (lisanslı) kullanıcılar ve ikincil (lisanssız veya bilişsel radyolar) kullanıcılar olarak sınıflandırır. Kablosuz iletişim teknolojisinde, lisanssız kullanıcılar sadece lisanssız bantları kullanabilir, ve bu durum lisanslı bantların verimsiz kullanılmasına neden olur. Bilişsel Radyo, lisanssız kullanıcılar etkin olmadığında lisanslı bantları kullanma hakkına sahip olmaları içindir [1].

Bilişsel radio temel olarak 4 fonksiyonu yerine getirmektedir (Şekil 1):

1- Spektrum algılama (spectrum sensing), kullanılmayan spektrumları tanımlamayı ve zararlı parazit olmadan diğer kullanıcılarla paylaşmayı amaçlamaktadır.

2- Spektrum yönetimi (spectrum management), iletişim için en iyi kanalı yakalama

3- Spektrum hareketliliği (spectrum mobility), bilişsel kullanıcının çalışma frekansını değiştirdiği süreç olarak tanımlanır.

4- Spektrum paylaşımı (spectrum sharing), bu kullanıcılar arasında adil bir spektrum planlama yöntemi sağlamak anlamına gelir. Paylaşma, açık alan kullanımındaki en büyük zorluktur [2].



Şekil 1. Spektrum Döngüsü [5]

## 2. TEKNİK YÖNETİM PLANI

### 2.1. Spektrum Algılama

Spektrum algılama, taranmış lisanslı bantta herhangi bir Birincil (veya Lisanslı) Kullanıcının (PU) çalışıp çalışmadığını değerlendirir. PU bulunmazsa, spektral delikler tanımlanır ve İkincil (veya Bilişsel) Kullanıcıların (SU) bu kanalda geçici olarak çalışmasına izin verilir [5]. Spektrum boşlukları zaman veya frekansta tespit edilebilir. Algılama işlemi, aşağıdaki gibi tanımlanan ikili hipotez modeli olarak düşünülebilir:

$$y[n] = \begin{cases} w[n], & \text{if } H_0 \\ w[n] + h \cdot x[n], & \text{if } H_1 \end{cases} \quad (1)$$

$y[n]$  tespit edilen sinyal ise,  $x[n]$  iletilen sinyaldir,  $w[n]$  ek beyaz Gauss gürültüsüdür (AWGN) ve  $h$  solma nedeniyle kanal kazancını ifade eder [3].

$H_0$ , spektrumun birincil kullanıcılar tarafından kullanılmadığını ve  $H_1$  spektrumun birincil kullanıcılar tarafından kullanıldığını ifade eden hipotezleri simgelemektedir. Eşik değeri, lamda ( $\lambda$ ) olarak ifade edilmiştir. Bu hipotezlere dayanarak:

- Algılama olasılığı:  $P_d = \text{Prob}(\text{detected signal} \geq \lambda | H_1)$ ,
- Yanlış alarm olasılığı:  $P_{fa} = \text{Prob}(\text{detected signal} \geq \lambda | H_0)$ ,
- Kaçırılan algılama olasılığı:  $P_{md} = 1 - P_d$

Amaç, yanlış alarm olasılığını ( $P_{fa}$ ) minimize ederken algılama olasılığını ( $P_d$ ) maksimize etmektir [4].

Bu bildiride spektrum algılama yöntemi olarak Enerji Tespiti Yöntemi (Energy Detection – ED) kullanılmaktadır.

### 2.2. Enerji Tespiti

ED en çok kullanılan spektrum algılama yöntemlerinden biridir. Özellikle, bilişsel kullanıcının iletilen sinyalin özelliklerini bilmediği senaryolarda büyük ölçüde benimsenmiştir. Uygulanması basit olmasına rağmen, ED, güvenilir bir algılama yapmak için gürültü ilişkisine iyi bir sinyal gerektirir.

Enerji tespiti normalde zaman alanında veya frekans alanında kullanılabilir. Her iki durumda da amaç, sinyal enerjisini önceden tanımlanmış bir algılama eşiği ile karşılaştırmaktır.

Enerji detektörünün tahmini, toplanan N tane örneğin enerjisinin ortalaması olarak tanımlanır:

$$Y_{DE} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y[n]|^2 \quad (2)$$

$Y_{DE} \geq \lambda$  ise alıcı  $H_1$  hipotezini seçer (bu, birincil kullanıcının kanal üzerinden ilettiği ve bilişsel kullanıcının fırsatçı olarak çalışmayacağı anlamına gelir.)

$Y_{DE} \leq \lambda$  ise kanal boş olarak değerlendirilir, bilişsel kullanıcının kanalı kullanmasına izin verilir.

( $Y_{DE}$ : Enerji Detektör Tahmini,  $\lambda$ : eşik değeri)

Algılama olasılığı ve yanlış alarm olasılığı, enerji detektörünün aldığı kararın doğru olup olmadığını teyit eder ve bu olasılıklar  $Y_{DE}$  ve  $\lambda$  arasındaki ilişki açısından ifade edilebilir [2]:

$$P_d = \text{Prob}(Y_{DE} \geq \lambda | H_1) \quad (3)$$

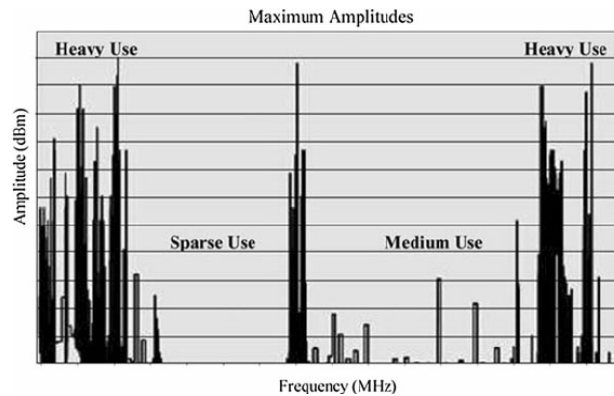
$$P_{fa} = \text{Prob}(Y_{DE} \geq \lambda | H_0) \quad (4)$$

### 2.3. Spektrum Tahsisi

Bilişsel radyo ağı, uygun boş bir spektrum bulmak için spektrum algılama fonksiyonunu kullanır ve daha sonra boşta olan spektrum kaynakları, ağı bilişsel kullanıcılarına tahsis edilen birçok kanala bölünür ve bilişsel kullanıcılar haberleşebilir. Bu nedenle, spektrum tahsisi algoritması tasarımını etkileyen kilit konu, haberleşme servisleri için tespit edilen spektrum algılama fonksiyonunun bilişsel kullanıcılar tarafından nasıl bilineceğidir.

Bu projedeki spektrum tahsisi algoritması, bilişsel kullanıcıların kullanılabilirliğini belirten 0 ve 1 olarak iki durum ile açıklanabilir. Eğer bant kullanılıyorsa, bilişsel kullanıcı bu bantı kullanamaz ve bu bant bilişsel kullanıcı tarafından '0' olarak işaretlenir (Şekil 2).

Eğer bant kullanılmıyorsa, bilişsel kullanıcılar tarafından seçilen isteğe bağlı banttır ve '1' olarak işaretlenebilir [3].



Şekil 2. Spektrum Kullanımı [5]

## 3. SİMÜLASYONLAR VE SONUÇLARI

### 3.1. Spektrum Algılama Simülasyonu

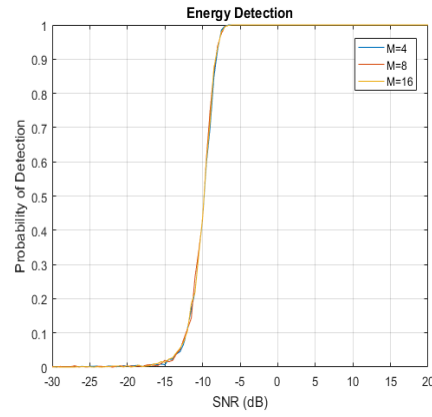
- Faz Kaydırma Anahtarlama (Phase Shift Keying – PSK) Modülasyonu kullanıldı ve M=4, M=8 ve M=16 için PSK sinyalleri oluşturuldu.
- Sinyal Gürültü Oranı (Signal to noise ratio – SNR), 0.5 aralıklarla -30dB’den 20dB’ye değiştirildi.
- AWGN kanalı  $P_{fa} = 0.01$  kabul edilerek oluşturuldu
- Algılama olasılığı ( $P_d$ ) ve kaçırılan algılama olasılığı ( $P_{md}$ ) hesaplandı.
- Eşik değeri ( $\lambda$ ) aşağıdaki formüle göre belirlendi [6]:

$$\lambda = (2 * Sample * (\sigma)^4)^{1/2} 1/2 * Q(P_{fa}) + Sample * (\sigma)^2 \quad (5)$$

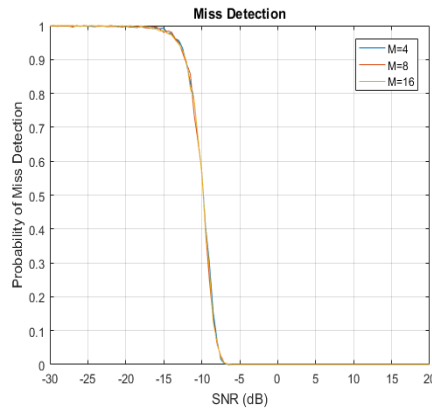
( $\sigma$  : gürültü varyansı)

### 3.2. Spektrum Algılama Simülasyon Sonuçları

Şekil 3 ve Şekil 4’te görüldüğü üzere Enerji Tespit Olasılığı ve Kaçırma Olasılığı, Sinyal Gürültü Oranı (SNR)’nın (-) 30dB’den 20dB’ye değiştirilmesiyle gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Enerji Algılama Olasılığı



Şekil 4. Kayıp Algılama Olasılığı

### 3.3. Spektrum Tahsisi Simülasyonu

Simülasyon parametreleri; 180 kHz bant genişliğine sahip bir makro baz istasyonu, 5 kanal, 5 birincil (lisanslı) kullanıcı, 10 ikincil (lisanssız) kullanıcı ve eNodeB ile UE arası 200m menzil olacak şekilde belirlenmiştir.

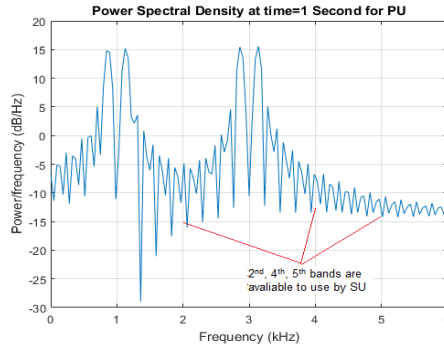
(UE:Kullanıcı ekipmanı)

### 3.4. Spektrum Tahsisi Simülasyon Sonuçları

Simülasyonlar 1, 5 ve 10. saniyeler olarak farklı zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiştir.

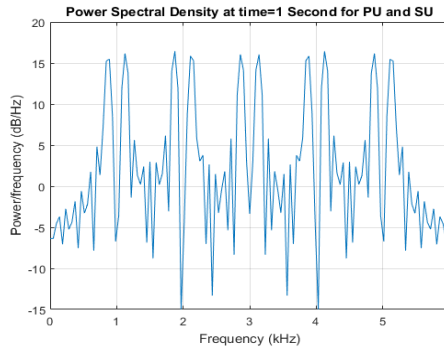
- 1. zaman dilimi:

1. ve 3. bantların birincil (lisanslı) kullanıcılar tarafından kullanıldığı Enerji Tespit Yöntemi ile algılanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Birincil kullanıcılar tarafından kullanılan bantlar

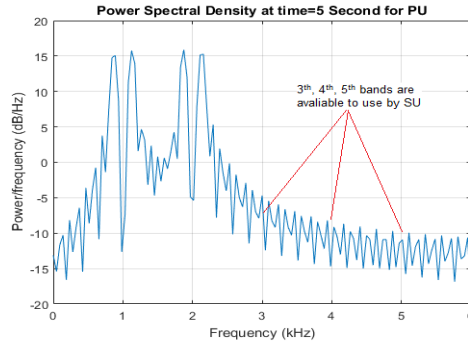
2., 4. ve 5. bantların uygunluğu Enerji Tespit Yöntemi ile algılanmış, Şekil 6'da görüldüğü üzere ikincil (lisanssız) kullanıcılara tahsis edilmiştir.



Şekil 6. Birincil-İkincil kullanıcılar tarafından kullanılan bantlar

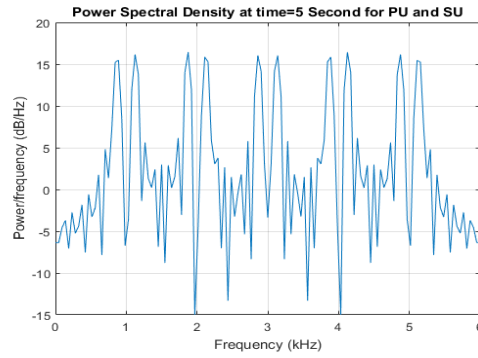
- 5. zaman dilimi:

1. ve 2. bantların birincil (lisanslı) kullanıcılar tarafından kullanıldığı Enerji Tespit Yöntemi ile algılanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Birincil kullanıcılar tarafından kullanılan bantlar

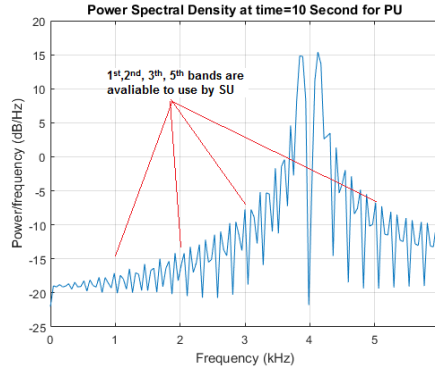
3., 4. ve 5. bantların uygunluğu Enerji Tespit Yöntemi ile algılanmış, Şekil 8’de görüldüğü üzere ikincil (lisansız) kullanıcılara tahsis edilmiştir.



Şekil 8. Birincil-İkincil kullanıcılar tarafından kullanılan bantlar

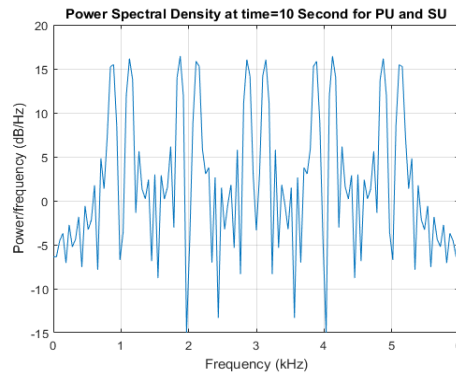
• 10. zaman dilimi:

4. bandın birincil (lisanslı) kullanıcılar tarafından kullanıldığı Enerji Tespiti Yöntemi ile algılanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Birincil kullanıcılar tarafından kullanılan bantlar

1., 2., 3. ve 5. bantların uygunluğu Enerji Tespiti Yöntemi ile algılanmış, Şekil 10’da görüldüğü üzere ikincil (lisansız) kullanıcılara tahsis edilmiştir.



Şekil 10. Birincil-İkincil kullanıcılar tarafından kullanılan bantlar

#### 4. SONUÇ

Bu bildiriye, Bilişsel Radyo teknolojisinin benimsediği dinamik spektrum kullanımına izin verilerek spektrum verimliliği artırılması yaklaşımı üzerine çalışma yapılmıştır. Bilişsel Radyo yaklaşımı ile spektrum algılama

yöntemleri kullanılarak spektrum boşlukları bulunur ve birincil kullanıcılar yok iken, ikincil kullanıcıların bu spektrum boşluklarına tahsis edilmesi, böylece spektrumların verimli kullanılması amaçlanır. Bu çalışmada spektrum algılama yöntemi olarak Enerji Tespitine Dayalı Spektrum Algılama Yöntemi kullanılmıştır. 180kHz bant genişliğine sahip 200m menzilli makro baz istasyonu, 5 kanal, 5 birincil (lisanslı) kullanıcı, 10 ikincil (lisanssız) kullanıcı ile MATLAB simülasyonları yapılmış olup, 5 birincil kullanıcıların kendi kanallarını kullanmadığı zamanlar algılanmış, boşta olan kanalların ikincil kullanıcılara tahsisi sağlanmıştır (Şekil 6, Şekil 8, Şekil 10). Bu sayede tüm kanalların verimli şekilde kullanıldığı görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Liang, Y.-C., Chen, K.-C., Li, G. Y., ve Mahonen, P. (2011) Cognitive radio networking and communications: An overview. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60, no. 7, 3386–3407.
- [2] Rehan Ahmed & Yasir Arfat Ghous (2010) “Detection of Vacant Frequency Bands in Cognitive Radio,” Blekinge Institute of Technology.
- [3] Ghayoor Abbas Jafri, Ateeq Ur Rehman, Muhammad Tariq Sadiq (2011) “Spectrum Sensing and Management in Cooperative Cognitive Radio”, Blekinge Institute of Technology.
- [4] Mohammed Abdo-Tuko, “Performance Evaluation and Comparison of Different Transmitter Detection Techniques for Application in Cognitive Radio,” School of Electrical and Computer Engineering, Addis Ababa Institute of Technology, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia.
- [5] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee and M.C. Vuran (2006) “Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey,” IEEE Transaction on Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127-2159.
- [6] Dong-Chan Oh, Yong-Hwan Lee (2009) “Energy Detection Based Spectrum Sensing for Sensing Error Minimization in Cognitive Radio Networks”, Seoul National University