TV Beyaz Spektrum İletişimi: Temel Bilgiler ve Güncel Gelişmeler

Suzan Bayhan, Fatih Alagöz
Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
bayhan@boun.edu.tr, alagoz@boun.edu.tr

Özet: Dinamik Spektrum Erişimi (DSE) paradigması kablosuz iletişimin gerçekleştirildiği ilk günlerden beri kullanılmakta olan ve günümüzün iletişim ihtiyaçlarına cevap vermekte yetersiz kalan statik spektrum erişimi yöntemine alternatif bir spektrum yönetim mekanizmasıdır. Statik spektrum yönetimi spektrum kaynaklarının genellikle uzun süreli ve geniş coğrafi alanlarda kullanımının lisanslarla düzenlenmesini sağlar. Buna karşın, DSE artan kablosuz veri taleplerine cevap verebilecek şekilde spektrum kaynaklarının daha etkin kullanımını mümkün kılar. Bu makalede, DSE paradigmasını gerçekleştirecek bir iletişim yöntemi olan TV bantlarındaki beyaz spektrum iletişimi (TV white spectrum) hakkında bilgi verilecektir. Neden TV bantlarının tercih edildiği, bu iletişim teknolojisinin temel özellikleri ve dünyadaki gelişmeler anlatılacaktır. Ayrıca, Avrupa Birliği ve ülkemizdeki durumun bir özeti verilecektir.

Anahtar Sözcükler: TV beyaz spektrumu, bilişsel radyo, dijital geçiş.

TVWS: TV White Spectrum Communications: Basics, Techniques and Latest Advances

Abstract: Dynamic spectrum access (DSA) is a spectrum management scheme that was proposed as an alternative to the classical static spectrum management scheme that has been used since the very early eras of wireless communications and fell short of meeting the needs of today's wireless communications. Static spectrum management scheme allocates the spectrum resources based on a licensing process that sells the spectrum rights country-wide and for long duration (mostly tens of years). DSA enables a more efficient usage that can meet the demands of increasing wireless data communications. This paper presents brief information on TV white spectrum (TVWS) communications that can be accepted as the first network realization of the DSA paradigm. Why these bands are at the interest of the research, basics of TVWS and the latest advances will be provided. Additionally, the advances in European Union countries and Turkey will be summarized.

Keywords: TV white spectrum, cognitive radio, digital divide.

1. Giriş

Kablosuz iletişimin ilk günlerinden yani 1920'li yıllardan bu yana teknolojik gelişmeler ile birlikte kablosuz genişbant ihtiyacı ve bu ihtiyaç ile birlikte yapılan tüketim de büyük oranda artmıştır. Her yıl iletim yapılan kablosuz verinin bir önceki yıla oranla iki veya üç katı büyüklüğünde olduğu tahmin edilmektedir. Veri iletimi talebini karşılamak için gerekli olan kaynak, yani spektrum, sınırlı bir kaynaktır. Ayrıca, her uygulamanın karakterine uygun olacak şekilde en iyi performansı gösterdiği bir spektrum aralığı (bandı) bulunmaktadır. Örneğin, mobil genişbant iletişim 300 MHz ile 3500 MHz aralığında en iyi şekilde sağlanabilmektedir. Bu aralığın dışındaki düşük frekanslar büyük antenler gerektirirken yüksek frekanslar kısa dalgaboyları nedeni ile daha kötü yayılım özelliklerine sahiptir [1]. Bu nedenle spektrumun, farklı uygulamalar arasında etkin bir şekilde dağıtılması önem taşımaktadır.

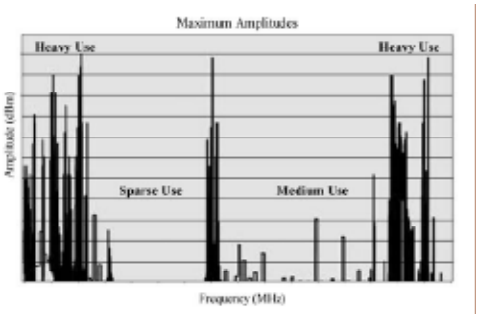
Spektrumun kullanımının düzenlenmesi her ülke için o ülkeye ait ulusal düzenleyici ku-

rumlarca, bu amaç doğrultusunda ülkelerarası uyumun ve koordinasyonun sağlanması ise ülkelerarası düzenleyici kurumlarca yapılmaktadır. Spektrum, ISM (Industrial, Scientific and Medical) bantları gibi lisanssız bantları saymazsak, ihaleler yapılarak ülke çapında, çoğunlukla uzun zaman periyotları (10 yıllar) için satışa çıkarılan bir kaynaktır. Spektrum lisansına sahip olan operatörün/kurumun sunacağı uygulamalar ve o operatör/kurumun kullanıcıları önceden tanımlı uygulamalar (radyo yayını ve sesli iletişim gibi) için belirlenen bandı kullanırlar. Bu kontrollü spektrum atanması (ve kullanımı) politikası ardındaki temel gerekçe radyo teknolojilerinin gelişmiş olmadığı zamanlarda farklı iletişim teknolojileri ve cihazlar arasındaki girişim (enterferans) seviyesinin en düşük değerde tutulması gerekliliğidir. *Statik spektrum erişimi*/*ataması* dediğimiz bu yaklaşım, radyo iletişiminin yeni başladığı 1920'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Ancak yaklaşık 100 yıllık bir erişim teknolojisi olan bu yöntem, neredeyse tüm spektrumun boş olduğu ve kullanımın/teknolojilerin yaygın olmadığı zamanlardaki gereksinimlere cevap verebilir durumda olmasına rağmen günümüzün 2G/3G/radyo/TV haberleşmesi gibi çok geniş bir uygulama ve frekans yelpazesindeki gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Günümüzde 4 milyar mobil kullanıcı bulunurken 2017 yılı için bazı tahminler 7 milyar insanın kullanımında olacak 7 trilyon kablosuz cihazın bulunacağını belirtmektedir [2]. Kablosuz veri trafiğindeki artışın yine benzer oranlarda olacağı düşünüldüğünde, spektrumun daha etkin bir şekilde atanması ve erişimini sağlayacak olan *dinamik spektrum erişimi (DSE)* paradigması büyük önem taşımaktadır.

Bu makalede, DSE paradigmasını gerçekleştirecek bir iletişim yöntemi olan TV bantlarındaki *beyaz spektrum iletişimi* hakkında bilgi verilecektir. Neden TV bantlarının tercih edildiği, bu iletişim teknolojisinin temel özellikleri ve dünyadaki gelişmeler anlatılacaktır. Ayrıca, Avrupa Birliği politikası ve ülkemizdeki durumun bir özeti verilecektir. Kısım 2'de bişişsel radyo ve dinamik spektrum iletişiminin temelleri verildikten sonra Kısım 3'te TV beyaz alan iletişimi anlatılacaktır. Bir sonraki kısımda Dünya'daki standartlar, ulusal kurumlarının düzenlemeleri ve teknolojik gelişmeleri özetleyip bu alanın zorlukları özetlenerek makale tamamlanacaktır.

2. Dinamik Spektrum Erişimi (DSE)

Yakın zamanda yapılan araştırmalar [3], lisanslı spektrum bantlarının çok azının (yaklaşık %15) gerçek anlamda kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca, Şekil 1'de de görüldüğü gibi spektrum kullanımı bazı bantlarda çok yoğun iken bazılarında çok seyrektir. Bu verimsiz ve dengesiz spektrum kullanımı, problemin spektrumun kendisinin sınırlı olmasından değil, var olan spektrum atama ve yönetim metotlarının yeterince verimli olmamasından kaynaklandığını göstermektedir.



Şekil 1 Spektrumun kullanım ölçümleri

Bu verimsiz spektrum kullanımı, *dinamik spektrum erişimi* (DSE) olarak adlandırılan yeni iletişim paradigmaları üzerine odaklanan araştırma çalışmalarını teşvik etmiştir. *Bilişsel radyo (BR) kavramı* ise DSE 'yi gerçekleyen teknolojidir. BR, en genel anlamda *içinde bulunduğu ortamı algılayabilen, ortamın durumu ve kendi ihtiyaçları doğrultusunda en iyi operasyon parametrelerini belirleyebilen akıllı bir radyo cihazıdır*. Daha dar anlamında ise, içinde bulunduğu radyo ortamını dinleyebilen, ortamın elektromanyetiksel ve cihazın kendi durumuna göre en iyi iletim parametrelerini belirleyen bir radyo cihazıdır.

Zamansal-uzamsal anlamda kullanılmayan spektrum boşluklarını fırsatçı bir şekilde kullanma fikri, bilişsel radyonun temel varoluş ilkesini oluşturur. Ancak bu teknolojinin gerçekleştirilmesinde bazı zorluklar bulunmaktadır. Bilişsel radyonun temel çalışma prensibi, BR terminolojisinde *birincil kullanıcı* (BK) olarak adlandırdığımız *lisanslı kullanıcıların* (veya daha öncelikli kullanıcıların) spektrumu kullanmadıkları zaman *ikincil yani bilişsel kullanıcı* (İK) olarak adlandırdığımız *lisanssız kullanıcıların* bunu algılayıp fırsatları değerlendirerek (yani fırsatçı- opportunistic- bir erişim ile) iletişim yürütmesine dayanmaktadır. Algılanan spektrum boşluklarındaki bu iletim, bir BK aynı bantta iletime başlayınca durdurulmalıdır. Ancak spektrumun boşluklarının algılanması gibi bu durumun yani iletime başlanmasının algılanması da oldukça güçtür.

Yukarıda değindiğimiz zorluklara çözüm getirmek için bilimsel çalışmalar yürütülmektedir. Ancak BR iletişiminin GSM gibi sıklıkla değişen kullanım özellikleri olan bantlarda gerçekleştirilebilmesi için zorluklar henüz çözülememiştir. Bu nedenle teknoloji geliştiricilerinin çalışmaları daha çok görece durağan bir kullanım çizgisine sahip olan TV bantlarındadır. TV bantlarının bulunduğu frekanslar (UHF düşük frekansları) uzun dalga boyundadır ve iyi iletim özelliklerine sahiptir. Bu nedenle mobil iletişim için oldukça uygundur. Ayrıca ilerleyen kısımlarda açıklayacağımız gibi dijital geçiş (*digital switch-over*) ile pek çok ülkede analog yayıncılık için kullanılan TV bantları boşaltılmaktadır. Bu da araştırmacılar ve telekom/kablosuz operatörler için BR iletişim sistemlerinin gerçeklenmesinde bir fırsat olarak görülmüştür. Bu bağlamda, ilk BR standardı olan IEEE 802.22 [4] TV bantlarında, kırsal kesimde bulunan sabit kullanıcılar için genişbant internet sunmayı hedeflemektedir.

3. TV Beyaz Spektrum İletişimi

Dijital iletişim ile daha iyi ses ve görüntü kalitesi sağlanabilmesi, spektrum ve sistem kaynaklarının daha etkili kullanılması sayesinde daha çok sayıda kanal desteği ve farklı pek çok uygulamanın bir arada (yakınsama) desteklenebilir olmasından dolayı Dünya çapında analog yayından dijital yayına (DTV) geçiş çalışmaları tamamlanmış, devam etmekte veya planlanmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri Haziran 2009 tarihi itibari ile tamamen DTV teknolojilerini kullanmaya başlamıştır. Bu geçiş, daha gelişmiş TV servisleri sunulmasını mümkün kılmakla kalmayıp analog TV için kullanılan spektrum bantlarının boşalmasıyla birlikte bu bantların yeni teknolojiler için kullanılması kapılarını da aralamıştır. 54-890 MHz arasındaki frekansların bir kısmı tamamen analog yayından arındırılacakken (temizlenmiş bantlar) bir kısmı ise lokasyona bağlı olarak boş olacaktır. *TV beyaz boşlukları* olarak da adlandırılan bu bantlarının yeni kablosuz teknolojilerin spektrum talebini karşılamak için kullanılması amacıyla düzenleyici kurumlar tarafından çalışmalar başlatılmıştır. Tamamen boşaltılmış olan bantların, statik spektrum ataması politikasından alışık olunan şekilde lisanslama süreçlerine tabii olması beklenirken, ikinci kısım için bilişsel mekanizmaların uygulanmasına olanak sağlayacak lisanssız erişim yöntemlerinin uygulanması beklenmektedir. Tamamen boşaltılmış bantların ülke genelinde lisanslarının satılması uygunken, TVWS bantlarının bazı yerlerde boş, bazı yerlerde dolu olması nedeni ile lisanslama sürecinden geçmesi uygun görülmemektedir. Örneğin 2008 yılında, Amerikan Federal İletişim Komisyonu (FCC), 2009 yılında analog televizyon yayıncılığından dijital yayıncılığa geçilmesi ile boşalacak spektrum bantlarının (700 MHz frekans bandı) satılması için bir ihale gerçekleştirmiştir ve diğer kısmi boş olan bantları TV beyaz iletişimi için açmıştır. Amerika'daki bu gelişmeler TVWS alanındaki akademik ve endüstriyel çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır.

Şebeke Mimarisi: Temel Özellikler

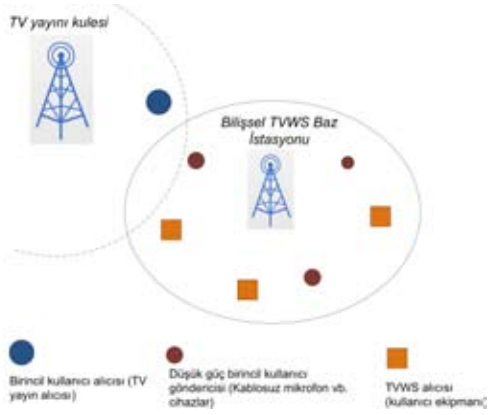
TVWS şebekesi Şekil 2'de gösterildiği gibi tıpkı ikinci nesil GSM ve üçüncü nesil sistemler gibi hücresel bir mimariye sahiptir. Her hücrede bir baz istasyonu bulunmakta ve kaynak

yönetimini yapmaktadır. Beyaz alan cihazları (White Space Device, WSD) olarak adlandırılan TVWS cihazları, çeşitli yöntemlerle birincil kullanıcıların olmadığı frekans bantlarını tespit etmeli ve bu bantları kullanmalıdırlar. Bilişsel radyo özelliği yani spektrumun analiz etme yetenekleri sayesinde WSDler spektrum boşluklarını (TV beyaz alanlarını) tespit ederler. Birincil sinyaller analog TV yayıncıları, digital TV yayıncıları gibi sabit ve yüksek güçte yayın yapan cihazlar olabileceği gibi Part 74 cihazları olarak da adlandırılan kablosuz kulaklıklar ve kulak içi monitörler benzeri düşük güçte çalışan, yerleri belirli ve durağan olmayan cihazlar da olabilir. İlk durumda, yani yüksek güçte yayın yapmakta ve konumları bilinmekte olan birincil kullanıcıların tespiti görece kolayken ikinci tip cihazların tespiti oldukça zordur. FCC ve Avrupa Komisyonu çalışma gruplarınca birincil kullanıcının korunması için üç yöntem önerilmektedir:

(1) Geolokasyon tabanlı veritabanı
(2) Spektrum dinlemesi ve
(3) Uyarı işaretleri (beacon) aracılığı ile.

Geolokasyon özelliğine sahip WSDler bulundukları alanlardaki boş kanal bilgisine bir veritabanına erişim sağlayarak sahip olabilirler. TVWS veritabanı (TVWS DB) olarak adlandırılan bu merkezi yapı birincil kullanıcıların (TV istasyonlarının) konumları, iletim güçleri, kapsama alanları, anten özellikleri gibi bilgilere sahip olduğundan çalışmakta olduğu alan için bir spektrum haritası çıkarabilir. Spektrum haritası, hangi alanlarda hangi bantların kullanımda olduğunu gösterir. Buna göre veritabanı cihazın bulunduğu alandaki boş bantları listeler. Ancak bu yaklaşımdaki temel problem, cihazların geolokasyon özelliklerine sahip olma zorunlulukları, konum belirlemedeki hata payları, GPS gibi uydu tabanlı sistemlerin iç mekanlarda çalışmıyor olmasıdır. Bunlara ek olarak veritabanına erişim için kontrol kanalı gerekmektedir.

Spektrum dinleme yöntemi ile düşük güçte yayın yapan cihazların tespiti oldukça güçtür. Bir diğer yaklaşım ise yerleşik bir ağ sisteminin bir sinyal (işaret) ile düzenli olarak yayın yapması ve WSDlerin bu işaretleri aldıkları zaman (ve o bantlarda) yayın yapmalarıdır. Ancak bu yaklaşım bir işaret ve sinyalleme sisteminin varlığına dayanmaktadır. Ayrıca kurulması gereken bu sistemin maliyeti en önemli dezavantajdır.



Şekil 2 TVWS örnek mimarisi

Güncel çalışmalar, geolokasyon tabanlı veritabanı sorgulama sistemi ve spektrum dinleme yöntemlerinin ikisinin birden uygulanmasının birincil sistemleri korumada en iyi başarım göstereceğini belirtmekte ve bu iki yöntemi benimsemektedir [5, 6]. Örneğin FCC, Kasım 2009'da TVWS veritabanı yöneticiliği görevini gerçekleştirmek isteyen kurumlar için bir çağrı yayınlamış ve bu çağrıya Google gibi büyük firmaların da yer aldığı dokuz kurum cevap vermiştir.

TVWS'nin kullanılması planlanan temel alan dijital uçurumu azaltacak Internet erişimi uygulamalarıdır. TVWS, özellikle ABD gibi geniş bir alanda seyrek yerleşimin olduğu yerlere kablosuz genişbant sabit erişim ve ev içi bağlantıyı sağlamak için kullanılabilecek cazip bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir.

4. Dünyada, Avrupa'da ve Türkiye'de TVWS

700 MHz düşük frekans bandı yayılımının daha geniş bir alanda olması ve duvar gibi katı yüzeylerden nüfuz edebilmesi nedeniyle kablosuz operatörler için tercih edilen bir banttır.

Bu nedenle analog TV bantları pek çok operatör, teknoloji geliştirici kurum ve araştırma kurumlarının ilgisini çekmiştir.

Düşük frekanslarda iletim daha geniş bir kapsama alanını sağlayabilmektedir. Dolayısı ile aynı alanı kapsamak için yüksek bantlarla kıyaslandığında daha az sayıda hücre gerekmektedir. Hücresel sistemlerde her hücrenin baz istasyonu, kontrol merkezleri gibi donanımlar ve bu donanımlara ilişkin yazılım maliyetleri vardır. Bunlar dikkate alındığında operatörlerin düşük frekanslarda hizmet sunmaları daha yüksek bantlar (örneğin Türkiye'de 900-1800 MHz GSM bantları kullanılmaktadır) ile karşılaştırıldığında şebeke maliyeti olarak daha düşüktür. Örneğin, aynı alanı 2.4 GHz bandında iletim yaparak kapsamak için TVWS bantlarındaki kapsama alanından beş kat daha fazla hücre gerektirmektedir.

Yukarıda belirttiğimiz gibi dijital geçişin önemli sonuçlarından biri analog servislerin kaldırılması ile iletişim için oldukça elverişli olan düşük frekans bantlarının boşalmasıdır. Böylece, mobil telefon, karasal yayıncılık ve yeni pek çok servis için bu boşlukların kullanılması mümkün olacaktır. Bu amaçla, Avrupa Birliği (AB) Komisyonu Haziran 2005'te *"analog yayıncılıktan dijital yayıncılığa geçişin hızlandırılması"* kararı almıştır [7]. Sonrasında her üye ülke kendi geçiş planını açıklamıştır. İsveç, Finlandiya, İsviçre, Danimarka, Almanya, Belçika ve Norveç analog yayıncılığı tamamen sonlandırmışken AB genelinde geçişin tamamlanmasının hedeflendiği yıl 2012'dir.

Türkiye'ye baktığımızda ise 2006 yılından beri İstanbul, Ankara ve İzmir'de TRT deneme yayınlarının yapılmaya başlandığı ve Avrupa Birliği politikaları ile uyum içinde olacak şekilde 2014 itibari ile geçişin tamamlanmasının hedeflendiği görülmektedir. Bu kapsamda pek çok düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Yayıncı lisansları (3984 sayılı yasa ile RTÜK tarafından), platform işletmesi (5809 sayılı yasa ile BTK tarafından), frekans planlama (5809/3984 sayılı yasalar ile BTK-RTÜK tarafından), AB/CEPT tarafından belirlenen verici-alıcı standartlarına uyumluluk (4703 sayılı yasa ile), setüstü kutuların teknik özellikleri gerekli düzenlemelerdendir [8].

TVWS iletişimi konusunda ise Türkiye'de henüz yasal bir düzenleme bulunmamaktadır. Ancak, dijital geçiş ile birlikte ortaya çıkacak spektrum boşluklarının Dünya'nın diğer ülkelerindeki gibi bu iletişim için kullanılması söz konusu olacaktır.

ECMA [9], IEEE SCC41 [10], IEEE 802.22 [11] ve Beyaz Boşluklar Koalisyonu (White Spaces Coalition) çalışma gruplarının faaliyetleri gibi standartlaşma konusunda yürütülen çalışmalar olmakla birlikte TVWS iletişimi için standartların tanımı henüz tamamlanmamıştır. Ancak, Amerika'da deneme ağları kurulmuştur. Örneğin bir firma (Spectrum Bridge [12]) Dell ve Microsoft işbirliği ile hem düşük nüfuslu kırsal alanda (Claudville, Virginia) , hem de görece daha yüksek nüfuslu kentte (Wilmington, North Carolina) TVWS ağı kurmuştur. Microsoft, Knows **[13, 14]** projesinde bir kampüs içinde benzer denemeler yapmıştır. Bu ilk denemeler, TVWS iletişiminin gerçekleştirilebilirliğine dair kuşkuları bir anlamda gidermek ve sistemin başarımını göstermek açısından önem taşımaktadır. Avrupa'da Finlandiya, 22 Aralık 2009 tarihli bir açıklama ile 1 Ocak 2010 itibari ile 470 –790 MHz bantlarında BR testlerine izin vermiştir [2]. Avrupa'daki çalışmalar hakkında geniş bilgiye Kaynak [15]'ten erişilebilir.

5. Sonuç

Artan kablosuz veri taleplerini karşılayabilmek ve spektrumu daha etkin bir şekilde kullanabilmek için statik spektrum erişimi yerine daha dinamik bir erişim yöntemi olan DSE kaçınılmaz hale gelmiştir. Dijital geçiş ile birlikte kısmi olarak boşaltılmış olan TV bantları bu dinamik erişim yöntemlerinin uygulanabilmesi için bir potansiyel sunmaktadır. TVWS iletişiminin gerçeklenmesindeki temel problem, lisanssız iletişimden kaynaklı birincil sistemi rahatsız edebilecek enterferansın kabul edilebilir sınırlarda tutulabil-

mesidir. Bunun için de TVWS ağında veritabanı bazlı ve spektrum dinlemenin bir arada tanımlandığı yaklaşımlar bir çözüm olarak önerilmektedir. Amerika'da başlayan yasal düzenlemeler ve ilk test kurulumları, ardından Avrupa ülkelerindeki çalışmalar bu teknolojinin önemine işaret etmektedir. Türkiye'de henüz bir düzenleme bulunmamakla birlikte 2014 yılında tamamlanması öngörülen dijital geçişin ardından TVWS bantlarının potansiyelinin gerçekleştirilebilmesi için çalışmaların yürütülmesi önem taşımaktadır.

6. Teşekkür

Bu çalisma, T.C. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) 2007K120610 numarali TAM Projesi ve Boğaziçi Üniversitesi BAP 5692P projesi tarafından desteklenmiştir.

7. Kaynaklar

[1] Lazarus, M., "The Great Radio Spectrum Famine Mobile broadband is consuming the available radio spectrum", http://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/the-great-radio-spectrum-famine, Ekim (2010).

[2] Kasslinmika, M., "TVWS Is an Cognitive Radio Enabler with Challenges, Challenges", TVWS Coexistence Workshop, 2010. http://www.ieee802.org/19/pub/Workshop/Panel%20A-09-Kasslin-Nokia.pdf

[3] Tugba Erpek, Mark Lofquist, Ken Patton, Spectrum Occupancy Measurements, Loring Commerce Centre Limestone, Maine, September 18-20, 2007. http://www.sharedspectrum.com/measurements/download/Loring_Spectrum_Occupancy_Measurements_v2_3.pdf

[4] C Stevenson, G Chouinard, Z Lei, W Hu, S J Shellhammer, W Caldwell, IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard, IEEE Communications Magazine, vol: 47, Issue: 1, 130-138 (2009).

[5] FCC 10-174 Second Memorandum of Order and Opinion, Sept. 23, 2010. http://www.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2010/db1025/FCC-10-174A1.doc

[6] ECC Draft Report, Technical And Operational Requirements For The Possible Operation Of Cognitive Radio Systems In The "White Spaces" of The Frequency Band 470-790 Mhz, Sept. 2010.

[7] Iosifidis, P. "Digital switchover in Europe", International Communication Gazette,Volume: 68 , no:3, (2006), p:249.

[8] Mehmet Gülşen, Sayısal Yayıncılık Düzenleme Çerçevesi ve Frekans Planlaması, Hacettepe Üniversitesi, 2008. http://syc2008.ee.hacettepe.edu.tr/bildiriler/TK_SAYISAL_YAYINCILIK_DUZENLEME_FREKANS_PLANI.pdf

[9] ECMA International, TC48-TG1 - TV White Spaces, http://www.ecma-international.org

[10] IEEE DYSPAN Standards Committee, http://grouper.ieee.org/groups/scc41/

[11] IEEE 802.22 WG on WRANs, http://www.ieee802.org/22/

[12] http://www.spectrumbridge.com/

[13] Networking Over White Spaces (KNOWS), http://research.microsoft.com/en-us/projects/knows/

[14] Bahly, P., Chandray, P. Moscibroday, T., Murtyz, R., Welsh, M., "White Space Networking with Wi-Fi like Connectivity", SIGCOMM'09, August 17–21, (2009).

[15] European TV White Spaces Analysis and COGEU use-cases, CogEU http://www.ict-cogeu.eu, March 2010.

[16] Shellhammer, S., Sadek, A., Zhang, W. "Technical Challenges for Cognitive Radio in the White Space Spectrum" , http://ita.ucsd.edu/workshop/09/files/paper/paper_1500.pdf