

Bilişsel Radyo Araştırmaları ve Gelecek Eğilimleri

Göksel Can, Ahmet Turgut Tuncer

Graduate School of Natural Sciences, Yıldırım Beyazıt University, Turkey,
Biomedical Equipment Technology, TBMYO Başkent University, Turkey
(125101403@ybu.edu.tr, ttuncer@baskent.edu.tr)

Özet –Kablosuz iletişim sistemlerinin kullanımının artması, frekans spektrumu ihtiyacının artışına neden olmuştur. BR (Bilişsel Radyo) teknolojisi belirli bir frekans spektrumu parçası üzerindeki iletişim bantları faaliyetlerini sezme ve ölçme sonucu bu bantların boş veya kullanan lisanslı kullanıcının olup olmadığı belirleyerek, boş bantların fırsatçı bir şekilde kullanmak sureti ile kısıtlı olan frekans spektrumu ihtiyacının adil ve etkin paylaşımına yardımcı olur. BR, mevcut spektrum yetersizliği sorununa çözüm içeren ve birçok fırsatlar barındıran yeni bir teknolojidir. Bu çalışmada, BR teknolojisi tanıtmış/özetlenmiş, kablosuz iletişime getirebileceği olası katkılar belirtilmiş ve bu teknolojinin geleceği hakkında yapılan en son çalışmalar özetlenmiştir.

Research and Future Trends on Cognitive Radio

Abstract –Increasing in wireless communications systems is caused to increase in the need of the frequency spectrum. CR (Cognitive Radio) measure or sense frequency spectrum activities on spectrum bands whether they are idle or used by licensed users. According to sensing results, idle spectrum bands can be used opportunistically in order to mitigate scarce spectrum needs fairly and efficiently. CR technology is proposed as a candidate technology for mentioned issues and contains many opportunities inside. In this paper, the technology was introduced. The possible additive contributions to wireless communications were investigated and the researches and future trends on Cognitive Radio were summarized.

Keywords – Cognitive Radio, Wireless communications, Dynamic Spectrum Acces

I. GİRİŞ

Kablosuz iletişim teknolojisinin gelişimi ve bu teknolojinin birçok alana uygulanabilmesi, kısıtlı kaynak olan frekans spektrumu ihtiyacını da artırmıştır. Lisanslama, yaygın radyo spektruma erişim yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, lisans sahibine frekans, boşluk, iletim gücü, kullanım şekli gibi kısıtlamalarla spektrumun bir kısmını belirli bir süre için kullanım hakkı tanır. Geçmişte radyo spektrumu büyük parçalar halinde lisanslanmasından dolayı frekans spektrumundaki bantların sınırlı kullanıldığı veya etkin olarak kullanılmadığı tespit edilmiştir. Öte yandan, günümüzde mevcut frekans spektrumu artan iletişim ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmiştir. Artan iletişim ihtiyacı daha fazla iletim kapasitesi ve performans gerektirdiğinden, spektrum kullanımı spektrumda boş kanal olduğu durumlarda lisans sahibi olmayan ikincil kullanıcılara (BR kullanıcısı) erişim hakkı verilerek artırılabilir [1]. Bilişsel radyo dinamik olarak çalıştığı parametreleri değiştirmek sureti ile spektrumu algılayarak boş bantları belirler ve uygun bantları fırsatçı bir şekilde kullanarak spektrumun tümünden faydalanmayı artırır. Bu yeteneği ile BR hem lisans gerektiren hem de lisanssız bantlarda çalışabilir. Lisans gerektiren bantlarda kablosuz kullanıcılar özel lisansları ile kendilerine tahsis edilen bantlarda kullanım önceliğine sahip olarak iletişimde bulunurlar. Lisanslı kullanıcılar birincil kullanıcılar olarak adlandırılırken, BR kullanıcıları ikincil kullanıcılar olarak kabul edilirler ve kanala girişim oluşturmadığı sürece erişebilir.

BR teknolojisi alanında, spektrum algılama, fiziksel katmanda sinyal sınıflandırma teknikleri, zamanlama, iletim gücü kontrolü ve veri bağı katmanında uyarlamalı kanal erişim protokolleri, yönlendirmede atlamalı iletim için kaynak tahsisi ile ilgili önemli miktarda araştırmalar yapılmıştır. Bazı akademik deneme platformları oluşturulmuş ve değişik kurumlar tarafından standartlaştırma çalışmaları başlamıştır.

Bu bildiri şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci kısımda, BR teknolojisi ve kablosuz iletişime getirebileceği olası katkılar kısaca tanıtmıştır. Üçüncü kısımda, BR araştırmaları ve bu alandaki gelecek eğilimler incelenmiş ve sonuçlar kısmı dördüncü bölümde sunulmuştur.

II. BİLİŞSEL RADYO TEKNOLOJİSİ

BR kavramı en geniş ve sınırsız anlamı ile çevresini gözleyen, değerlendiren ve gereken tepkiyi gösterebilen bir haberleşme sistemidir. BR sistemi Şekil 1’de görülmektedir. YTR (Yazılım Tabanlı Radyo), DSE (Dinamik Spektrum Erişimi) ve Yapay Zeka Teknolojilerini birleştirerek, bilişsel yeteneğe sahip, içinde bulunduğu çevreye göre kendi kendini yeniden yapılandırabilen ve içinde BR teknolojisi olarak adlandırılan ağ ve terminal cihaz kavramlarını barındıran teknolojidir.

BR, iletim değişkenlerini kontrol etmek ve uyarlamak için ortamı öğrenme ve algılama yaparak insan beynini taklit eden gelişmiş bir radyo cihazı ve ağ donanımlarını kasteder [2]. BR teknolojisinin gerçekleştirilmesi, “Farkındalık”, “Algılama”, “Öğrenme” ve “Uyarlanma” olarak belirlenen bilişsel süreçlerin radyo teknolojisi ile bütünleşmesini

gerektirir. BR'nun iki ana özelliği bilişsel yetenek ve yeniden yapılanabilme olarak tanımlanabilir:

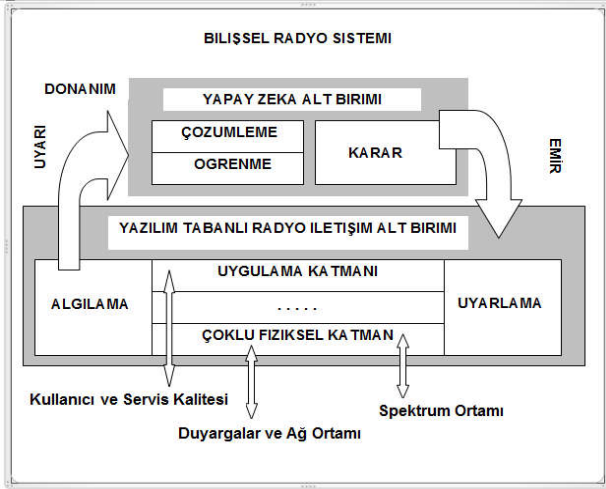


Fig. 1 Bilişsel radyo sisteminin şematik gösterimi

A. Bilişsel Yetenek

Bilişsel yetenek, radyo çevresindeki bilgilerin algılanabilme veya yakalanabilme teknolojisini belirtir. Bu yetenek, kabaca ilgilenilen bazı frekans bantlarındaki gücün izlenmesi ile sağlanmaz, diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimden sakınmak ve radyo ortamındaki zamansal ve uzaysal değişimleri yakalayabilmek için daha karmaşık teknikler gereklidir. Bilişsel yetenek yardımı ile belli bir yerde veya zamanda kullanılmayan spektrum boşlukları belirlenebilir. Daha sonra, en iyi spektrum ve uygun çalışma değişkenleri seçilebilir. BR'nun bilişsel yeteneği, dinamik radyo ortamını kabullenmeyi ve uygun iletişim değişkenlerini belirlemek amacıyla ortamla gerçek zamanlı etkileşim halinde bulunmayı mümkün kılar. Bilişsel döngü olarak da adlandırılan ve uyarlanır çalışma gerektiren yapıları şu şekilde açıklamak mümkündür:

Spektrum Algılama: Bir BR uygun frekans spektrum bantlarını izler, onlar hakkında bilgi edinir ve spektrum deliklerini belirler.

Spektrum Çözümleme: Algılanan spektrum ile ilgili belirlenen spektrum deliklerinin özellikleri kestirilir.

Spektrum Kararı: BR veri hızını, iletim kipini ve iletim bant genişliğini belirler. Daha sonra kullanıcı istekleri ve seçilen spektrum özelliğine göre uygun spektrum bandı seçilir. Kullanılacak spektrum bandının belirlenmesinden sonra, iletişim spektrum bandı üzerinden sağlanabilir

B. Yeniden Yapılanabilme

Yeniden yapılanabilme, donanım elemanlarında herhangi bir değişim yapmaksızın, o an içinde bulunulan iletişim ortamı için çalışma değişkenlerinin yeniden yapılanabilme yeteneğidir. Yeniden yapılanabilme, yalnız iletişim öncesinde değil, aynı zamanda iletişim esnasında da gerçekleştirilebilmelidir [3]. Bilişsel yetenek spektrum-farkındalığı sağlarken yeniden yapılanabilme radyoyu ortama dinamik olarak programlamayı mümkün kılar. Daha önemlisi, BR farklı frekanslarda işaret gönderme ve almaya ve donanım yardımı ile desteklenen farklı iletim erişim teknolojilerini kullanmaya programlanabilir. BR'ya uyarlanabilecek birçok yeniden yapılanabilme değişkeni vardır. Bunlar çalışma frekansı, modülasyon, iletim gücü, iletişim teknolojisi vs. olabilir.

BR'nun kablosuz iletişime getirebileceği olası katkılar şunlardır:

DSE (Dinamik Spektrum Erişimi) : Mevcut kablosuz iletişim uygulamaları için çok kalabalık lisans gerektirmeyen bantlar üzerinde bulunan sabit spektrum parçaları tahsis edilmiştir. Bu sabit spektrum diğer cihazlar tarafından da kullanılır. Bundan dolayı BR kullanıcısı diğer kullanıcılarla işbirliği içinde fırsatçı olarak spektrumunu kullanabilmelidir.

Trafik patlaması durumunda fırsatçı kanal kullanımı: Birçok kullanıcının aynı anda spektruma erişmek istemesi durumunda trafik parlaması meydana gelir. Bu aşda paket kaybına ve paket çarpışma olasılığının artmasına dolayısı ile tüm iletişim emniyetinin düşmesine sebep olur. Fırsatçı kanal kullanımı ile belirtilen potansiyel olumsuzluklar önlenabilir veya azaltılabilir.

Enerji tasarrufu amaçlı kanal kullanımı: Kablosuz kanal kullanımının dinamik yapısı gereği paket kayıpları ve yeniden gönderim enerji kayıplarına neden olur. BR kullanımı değişen kanal koşullarına göre transceiver değişkenlerini ayarlamak suretiyle iletişim verimini artırır, kullanılan enerji miktarını azaltır.

Birlikte çalışabilirlik: Dinamik spektrum yönetimi uzaysal olarak birbirleri ile çakışan kablosuz iletişim ağlarının birlikteliğini etkin hale getirir. İletişim performansı ve kaynak kullanımı artar.

Farklı spektrum düzenlemeleri altında spektrum erişimi: Herhangi bir bölgede veya ülkede iletişime müsaade edilen bant farklı spektrum düzenlemeleri sebebi ile bir başka bölge veya ülkede uygun olmayabilir. BR yetenekleri ile farklı spektrum düzenlemeleri altında iletişim mümkün hale gelebilir.

Kırsal kesimlerde mobil genişbant erişimi: Kırsal kesimlerde geliştirilmiş genişbant hizmetleri sunumuna olanak sağlayacak yeni bir potansiyel teknolojidir. BR teknolojisi, TV kanalları arasında bulunan ve "WhiteSpaces" (beyaz boşluk) olarak adlandırılan boş radyo kanallarını kullanarak çalışabilecektir. Beyaz boşluk cihazları olarak da adlandırılan bu cihazlar önceleri televizyon için kullanılan daha düşük frekans bantlarını kullanmaktadır. Bu frekanstaki sinyaller daha uzağa erişebilmekte ve binaların içinde daha iyi erişim olanağı sağlayabilmektedir.

Ayrıca, akıllı şebekeler, kamu güvenliği haberleşmesi, tıbbi uygulamalar ve hücrel genişbant kullanımı gibi konular ana BR uygulama alanlarıdır.

III. BR TEKNOLOJİDE GELECEĞE YÖNELİK EĞİLİMLER VE ARAŞTIRMA KONULARI

Bu kısımda, BR için gelecekteki eğilimleri özetlenmeye çalışılmıştır. BR uygulamaları hakkında kapsamlı bir araştırma [4]'de yapılmıştır. Ayrıca, ana araştırma konuları özetlenmiştir:

Gelişmekte olan BR teknolojisi, dinamik olarak sınırlı radyo kaynaklarının kullanımını optimize ederek kablosuz ağlarda "radyo trafik sıklığı" problemini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu teknoloji aynı zamanda kablosuz ve mobil iletişim hizmetlerinde sağlamlık ve verimlilik sağlayacaktır. Teknolojinin, genel amaçlı programlanabilir radyo olan YTR ile gelişeceği tahmin edilmektedir. YTR, esnek ve uyarlanabilir kablosuz sistem çalışmaları için evrensel bir platform olarak düşünülmektedir. Araştırma çalışmalarının önemli miktarı BR iletişim ve ağların farklı yönleri üzerinde harcanmış olmasına rağmen birçok teknik zorluklar ve araştırma olanakları hala vardır. Ayrıca, DSE için spektrum

politikası ve fiyatlandırma hususlarında da önemli zorluklar vardır. Buna ek olarak, BR teknolojisinin gerçek hayatta sıkı test ve değerlendirmeye tabi tutulması önemli bir konudur. Açık teknik sorunlardan birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

Bir BR sistemi, birincil kullanıcı trafik modelinin zamana bağlı bir yapı ve kusurlu spektrum algılama ile birlikte karakterize edilir. Birincil kullanıcının herhangi bir yardımı olmadan ikincil kullanıcıların kanal parametrelerini tahmin için bir yöntem geliştirmek, pratik BR sisteminin tasarımı için önemlidir. Araştırmalar önemli miktarda verici algılamaya dayalı spektrum algılama üzerinde yapılmıştır, ancak alıcı tespiti için uygun teknikler belli sayıda vardır.

BR'lar arası spektrum paylaşımı için geliştirilecek yöntemlerde çoklu radyo, farklı senaryolar, çok kullanıcı, çok kanallı spektrum erişimi koordinasyonu için kontrol kanallarının sınırlılığı veya hiç bulunmaması gibi sınırlamalar ve kanal özellikleri dikkate alınarak geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yatay ve dikey spektrum paylaşımı senaryolarının da dikkate alınması gerekir. BR ağlarda taşıma katmanı protokolleri gibi yüksek katman protokollerin değerlendirilmesi ve tasarımı yeterince incelenmemiştir. DSE ağları için çapraz katmanlı uyarılma ve optimizasyon, BR protokol tasarımında önemli bir bileşen olacaktır.

BR ağlar çok karmaşık sistemler olduğundan, gerçek-dünya ortamında sistem performanslarını değerlendirmek çok kritiktir. Pratik olarak uygulanabilirliğini değerlendirmek için gelişen davranışları incelenmelidir. Bu nedenle, prototip ve deneme platformları ve bunların yönetimi geliştirilmesi esastır. Böylece deneyler analitik modeller ve benzetim senaryoları ile beraber gerçekçi ortamlarda da yapılabilir. Uyarılmalı protokoller ve politika gereksinimleri BR ağlar için hazırlanması gereken deneme ortamı geliştirme çalışmalarına ve benzetim senaryolarına zorluklar ve kısıtlamalar getirmektedir.

Küçük hücre kullanımı hücre tabanlı kablosuz ağ kapasitesini artırmak için potansiyel bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, küçük hücre, bir büyük hücre için taban sağlayacaktır. Küçük hücre ve makro hücre aynı spektrum bandını kullanırsa, her iki hücre dizilerindeki kullanıcıların performanslarını kötüleştiren girişim oluşacaktır. BR teknikleri bu sorunun çözümünde yardımcı olabilir. Bu durumda, küçük hücreler makro hücreye tahsis edilen spektrumunu yeniden kullanabilir. Makro hücre boşaltılması ile kanal kapasitesi genişlerken fırsatçı erişim kullanılarak, spektrum kullanımı geliştirilebilir. Verimli fırsatçı spektrum erişimi için, spektrum kullanılabilirliğini belirleme amaçlı bir spektrum algılama mekanizmasının dikkatli ve optimal olarak dizayn edilmesi gerekmektedir [5].

Cihaz-cihaza (device-to-device-D2D) iletişimde cihazlar birbirleriyle doğrudan iletişim kurarak bir baz istasyonundan veri trafiğini boşaltması için getirilmiştir. Bilişsel küçük hücreli ağlarda benzer şekilde, D2D haberleşmesi amacıyla hücre tabanlı kullanıcılar tahsis edilen spektrumunu yeniden kullanabilir. BR teknikleri D2D cihazlarının (örneğin, ikinci kullanıcılar) fırsatçı olarak spektruma ulaşması için uygulanabilir. Yine, D2D cihazları tatmin edici bir performans elde ederken, hücre tabanlı kullanıcıların QoS gereksinimlerinin ihlal olmayacağından emin olmak spektrum algılama için önemlidir.

Makineden-makineye (M2M) iletişim, kablosuz düğümlerin insanlarla etkileşimde bulunmadan iletişim kurmasını sağlar. BR, lisanslı kanaldan veri iletimini lisans gerektirmeyen kanala taşıdığı için M2M iletişim için potansiyel bir

çözümdür. BR ağlar üzerinden veri iletiminin enerji tüketimine odaklanan akıllı şebeke uygulamaları için M2M iletişim üzerinde durulan çalışmalar yapılmıştır [6]. DSE, güç verimliliği ve spektrum verimliliği arasındaki en uygun dengeyi bulmak için çok amaçlı bir genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiştir. M2M iletişim için kablosuz sistemlerle beraber BR bütünleşik olarak geliştirilmiş olmalıdır. Sınırlı hücre tabanlı radyo spektrumunda, cihazlar arası (D2D) iletişimin yoğun olarak kullanımı ile BR-tabanlı gelişmiş girişim kontrolü ve kaçınma yöntemleri bu sistemler için gerekli olacaktır.

Mobil cihazlar için enerji yönetimi önemli bir sorundur ve bu nedenle BR, veri iletiminde enerji verimliliğini yakalamak için optimize edilebilir [7]. Spektrum algılama da gelişmiş sinyal algılama ve tahmini yapmak için sadece gerektiğinde fazla enerji tüketen uyarılmalı bir algoritma kullanılabilir. Öğrenme algoritmalarının farklı biçimleri bunun için kullanılabilir. Hem tek katmanlı ve çok katmanlı hücre tabanlı kablosuz ağlarda, BR teknikleri, kullanıcıların iletişim ihtiyaçlarını karşılarken baz istasyonlarının bazılarını kapatmak, açmak için kullanılabilir.

BR'nin çok umut verici uygulamalarından biri çok katmanlı ağların kapsama alanlarını arttırmak için kullanımı olacaktır. [8]'deki çalışma yeni nesil heterojen ağlarda çok katmanlı fırsatçı erişim sağlamak için altyapı-tabanlı bindirmeli BR ağlarla geleneksel femtocell kavramını birleştiren bir femtocell temelli BR mimarisi önerilmiştir.

BR ilkeleri, atlamalı kablosuz örgü ağlarında da kullanılabilir. Ağ düğümleri arasında sabit bir kanal tahsisi yerine dinamik kanal tahsisi, spektrum kullanımının verimini artırmak için kullanılabilir. [9]'de, birincil kullanıcılar girişim ve birlikte yaşama sorunlarını dikkate alan küme tabanlı dinamik bir kanal tahsisi yapısı önerilmiştir.

Büyük ölçüde atıl olan analog TV bantları BR teknolojisi ile geniş bant kablosuz veri iletişimi için kullanılabilir. TV spektrumundaki boş bantlar TVWS olarak adlandırılır. [10]'de TVWS erişimi ve kullanımı hakkında kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Yüksek hassasiyetli spektrum algılama [11], çevik modülasyon ve spektrum havuzu teknikleri ve sistem düzeyinde tasarımı da dâhil olmak üzere, çeşitli konular incelenmiştir.

Geleneksel elektrik şebekesinin verimliliği arttırmak için geliştirilen akıllı şebeke kavramı, güç sisteminin optimal çalışmasını sağlamak amaçlı güç şebekesinin üretim, iletim ve dağıtım işlemleri ile ilgili farklı bilgileri aktarmak için veri iletişim teknolojilerini kullanır. Kablosuz teknolojilerde akıllı şebeke iletişimde kullanılacaktır [12]. Akıllı şebekelerde veri iletişimi için kullanılan kablosuz iletişimde spektrum kullanımı ve iletim verimliliğini artırmak için BR kullanımı büyük bir öneme sahip olacağı ön görülmektedir.

Akıllı şebeke uygulamalarında BR kullanılabilirliği incelenmiş ve mimari ve algoritma ve donanım test yatağı geliştirilmiştir. Önceki çalışmalar akıllı şebekede BR kullanımının farklı konularını ele almalarına rağmen bu alanda hala birçok araştırma konusu açıktır. Örneğin, akıllı şebekede kullanılan BR için farklı akıllı şebeke uygulamalarının gecikme ve güvenilirlik gereksinimlerini karşılama amaçlı optimizasyon olanakları ile enerji üretimi, enerji iletimi ve tüketiminde BR faydaları analiz edilmelidir.

IV. SONUÇLAR

Bilişsel radyo, akıllı kablosuz ağlarda spektrum kıtlığı sorunu hafifletmeyi amaçlayan ve spektrum verimliliğinde

önemli kazanç sağlayan yeni bir teknolojidir. Bu makalede BR iletişim ağlarının tasarımındaki önemli konular tartışılmış ve literatürde ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir. Gelecekteki eğilimler ve araştırma yönleri tartışılmıştır ve açık araştırma konuları özetlemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Guest Editorial, "A Path in the Evolution of Public Wireless Networks", KICS/IEEE Journal of Communications and Networks (JCN) Special Issue on Cognitive radio, 2008.
- [2] Haykin S., "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(2): 201–220, 2005,
- [3] Akyildiz IF, Lee WY, Chowdhury KR., "CRAHNS:cognitive radio ad hoc Networks", *Ad Hoc Networks*, 7(5): 810–836, 2009.
- [4] Wang J, Ghosh M, Challapali K., "Emerging cognitive radio applications: a survey", *IEEE Communications Magazine*, 49(3): 74–81, 2011.
- [5] El Sawy, H. and Hossain, E., "Two-tier HetNets with cognitive femtocells: downlink performance modeling and analysis in a multichannel environment". *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13 (3), 649–663, 2014.
- [6] Vo QD, Choi J-P, Chang HM, Lee WC. Green perspective cognitive radio-based M2M communications for smart meters, *In Proc. of International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, November 2010; 382–383.
- [7] Feng D, Jiang C, Lim G, Cimini LJ, Jr., Feng G, LiGY. A survey of energy-efficient wireless communications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1): 167–178, 2013.
- [8] Gür G, Bayhan S, Alagoz F., "Cognitive femtocell networks: an overlay architecture for localized dynamic spectrum Access", *IEEE Wireless Communications*, 17(4): 62–70, 2010.
- [9] Chen T, Zhang H, Maggio GM, Chlamtac I., "CogMesh: a cluster-based cognitive radio network", *In Proc. of 2nd IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN07)*, 2007; 168–178.
- [10] Nekovee M., "A survey of cognitive radio Access to TV whitespaces", *In Proc. of International Conference on UltraModern Telecommunications & Workshops (ICUMT)*, 2009.
- [11] Zaballos A, Vallejo A, Selga JM., "Heterogeneous communication architecture for the smart grid", *IEEE Network*, 25(5): 30–37, 2011.
- [12] Qiu RC, Hu Z, Chen Z, Guo N, Ranganathan R, Hou S, Zheng G., "Cognitive radio network for the smart grid: experimental system architecture, control algorithms, security, and microgrid testbed", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(4): 724–740, 2011.