



Cognitive Radio: Bilimsel, Kavramsal, Fırsatçı bir Radyo

Beycan Kahraman ([kahramanb \[at\] itu.edu.tr](mailto:kahramanb@itu.edu.tr))

Cognitive Radio Çalışma Grubu: cr.cs.itu.edu.tr

İçerik

- Niçin Cognitive Radio (CR)?
 - Spektrum Nedir?
 - Spektrum Problemleri
 - Dinamik Spektrum Erişimi
- CR Gereksinimleri ve Tasarımı
 - CR'nin İşlevleri
 - CR'nin Karakteristik Özellikleri
 - CR Erişim Modelleri
 - CR Uygulama Alanları
- CR Tasarım Problemleri
 - Farklı OSI Katmanları
 - Diğer Çalışma Alanları
- Sonuç

Niçin Cognitive Radio (CR)?

Spektrum Nedir?

- Bütün frekans kanallarının toplamı
 - Bizim için önemli olanlar iletişim yapabildiklerimiz
- Doğal yapısından dolayı sınırlı
 - Düşük frekanslar:
Uzak mesafelere erişim mümkün
İletişim band genişliği düşük
 - Yüksek frekanslar:
Uzak mesafelere ulaşamaz (duvarları geçemez)
Yüksek bant genişliği
- Güç seviyesini de ayarlayarak aradaki dengeyi iyi kurmak önemli
- Genellikle, 3kHz – 3GHz aralığında iletişim

Niçin Cognitive Radio (CR)?

Spektrum Problemleri

- Spektrum yetmezliği (**spectrum scarcity**)
Her yeni teknoloji için farklı bir spektrum bölgesi atama

- ÖR:

FM Radyo Bandı: 87.5 - 108 Mhz

UHF TV Bandı: 470 - 582 Mhz

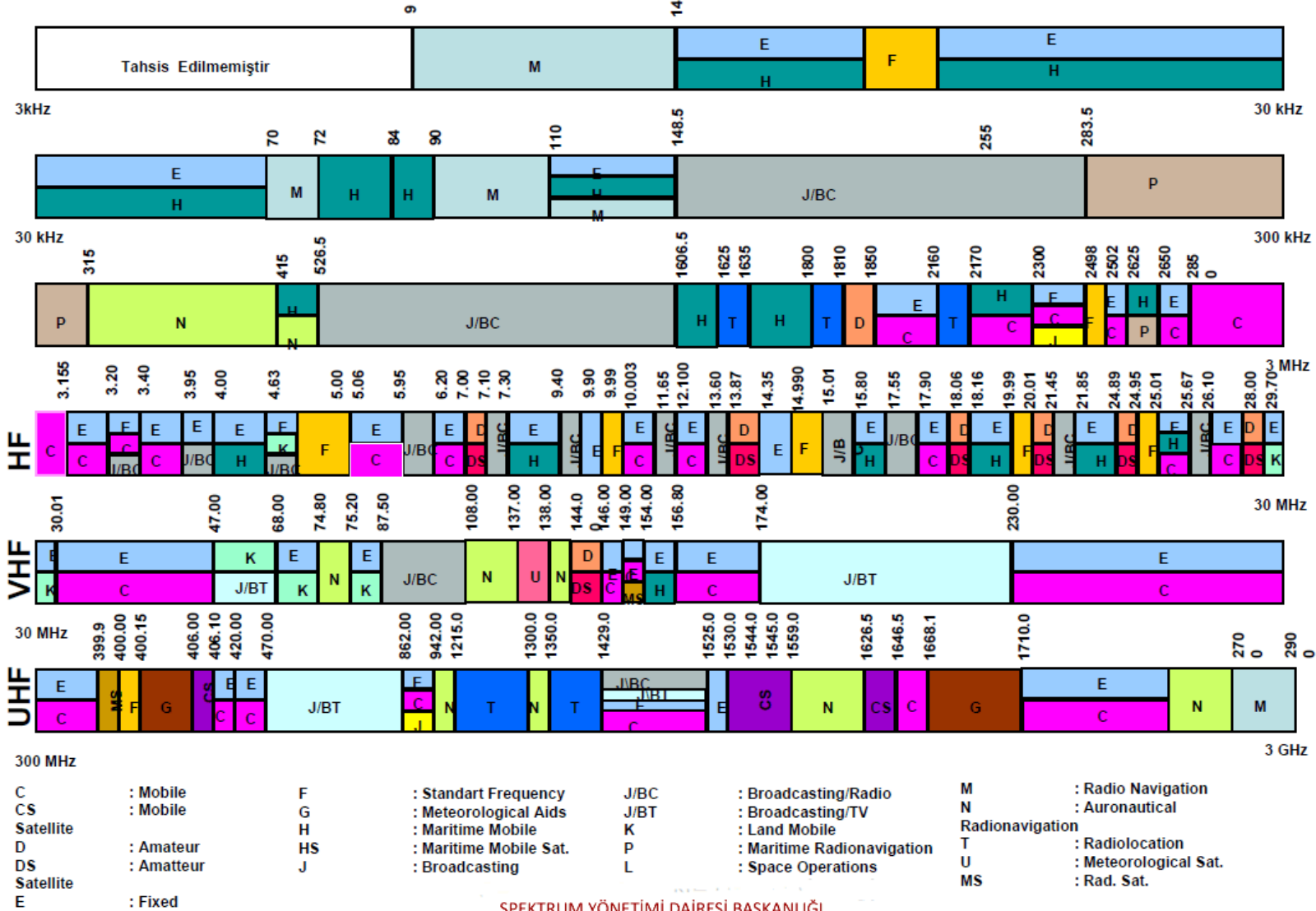
...

- Diğer taraftan spektrum bantları çok değerli

Turkcell, 45 Mhz'lik A tipi 3G frekans bandını 20 yıllığına kiralama bedeli olarak telekomünikasyon kurumuna **358 milyon euro (+KDV)** ödedi.

Niçin Cognitive Radio (CR)?

MİLLİ FREKANS SPEKTRUMU



SPKTRUM YÖNETİMİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI

Niçin Cognitive Radio (CR)?

Spektrum Problemleri

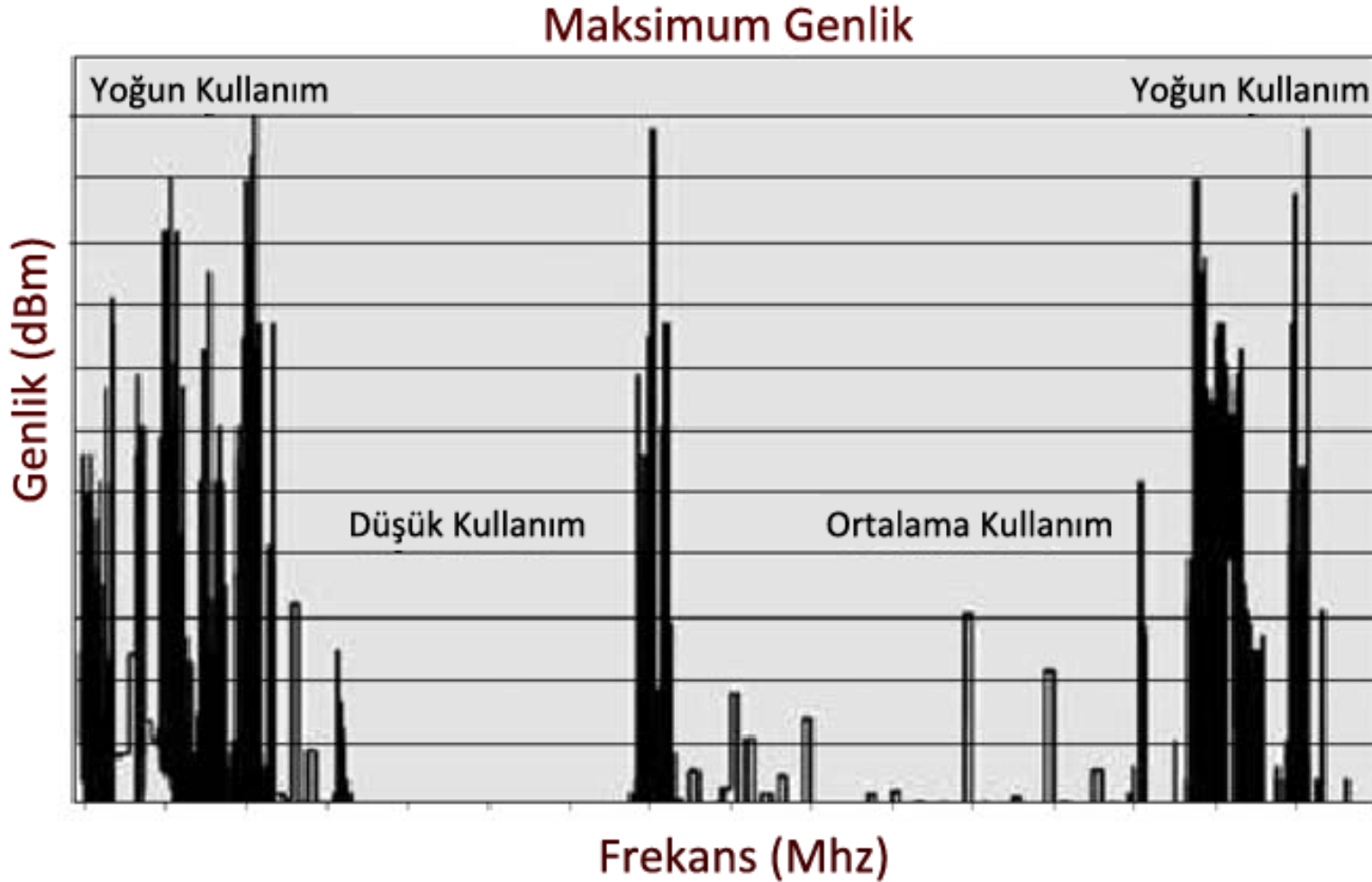
- Spektrumun yeterince etkin kullanılamaması (**underutilization**)

ÖR:

- Şu anda WiFi (IEEE 802.11) için belli kanallar ayrılmış durumda. Bulduğumuz ortamda tamamını kullanıyor muyuz?
 - TV Kanallarını taradığınızda çoğunluğunun boş olduğunu görürsünüz.
- DARPA (ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı) [2000], ayrılmış spektrum yeterince kullanılmıyor
 - FCC (Federal Comm. Commission) Spectrum Policy Task Force (SPTF), yeni erişim teknolojileri geliştirilerek bu boşluklar doldurulmalı

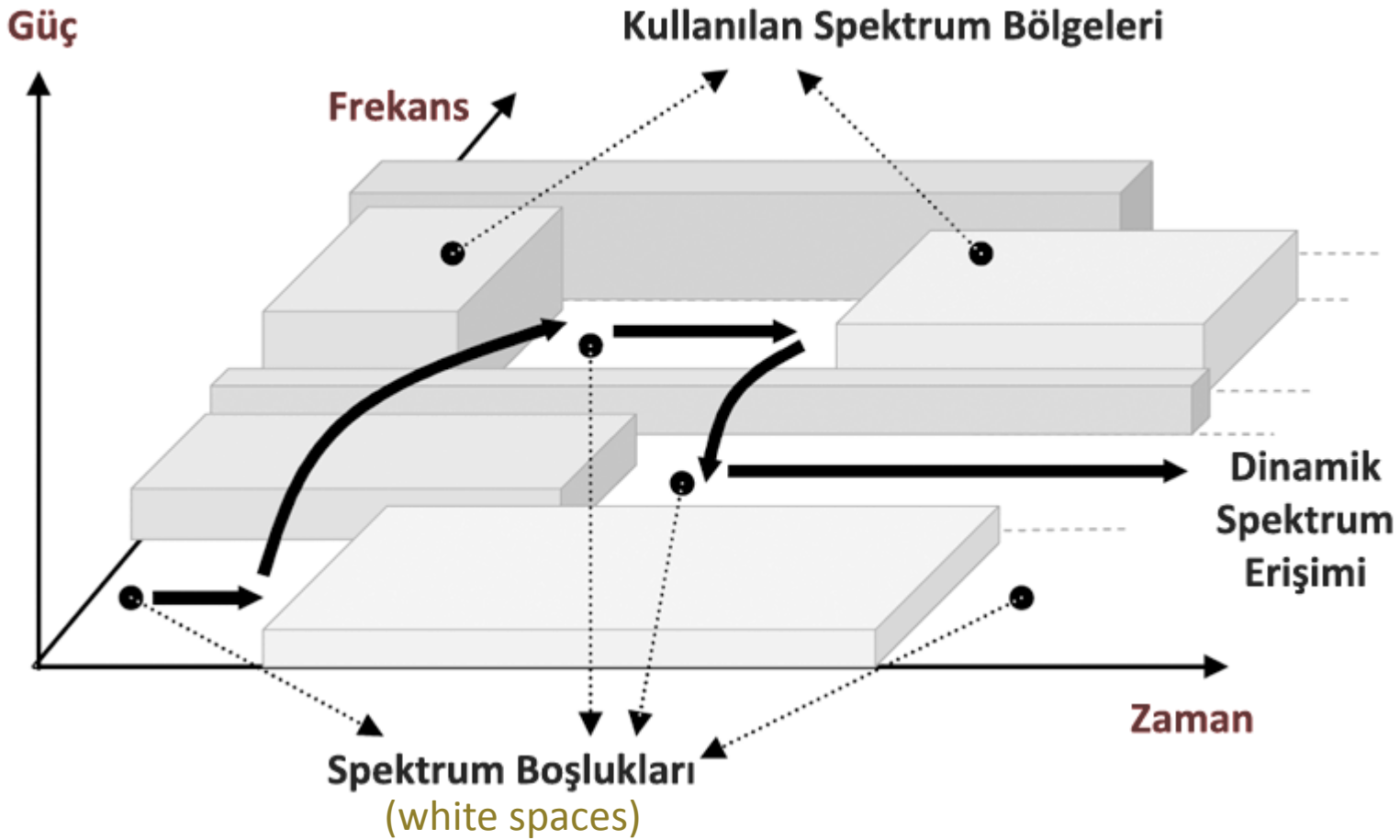
Niçin Cognitive Radio (CR)?

Spektrum Kullanımı



Niçin Cognitive Radio (CR)?

Dinamik Spektrum Erişimi (dynamic spectrum access = DSA)



Niçin Cognitive Radio (CR)?

Dinamik Spektrum Erişimi (DSE)

- CR, DSE sağlayan sağlayan ürünlerden biri
- CR, ITU GSC (Global Standards Collaboration)'nin verdiği tanımla “kendi çalışma ortamını sezen ve bu ortam hakkında bilgi sahibi olan, bunlardan yararlanarak radyo çalışma parametrelerini dinamik olarak ayarlayabilen bir radyo veya sistemdir”

unlicensed (secondary)

licensed (primary) users

- CR yardımıyla lisanssız (ikincil) kullanıcılar , lisanslı (birincil) kullanıcıların spektrum bölgelerine erişebileceklerdir.
- İki temel şartla:
 - İkincil kullanıcılar (İK), birincil kullanıcıların (BK) çalışmalarına zarar vermeyecekler
 - İK, ortamda bulunan diğer sistemlerle spektrumu paylaşacaklar

CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR'nin İşlevleri

- **Spektrum Sezme (spectrum sensing)**: Kullanılmayan spektrumu saptayabilmeli ve bu spektrumu zararlı çakışmalara sebep olmadan diğer kullanıcılarla paylaşabilmeli.
- **Spektrum Analizi (spectrum analysis)**: Kullanıcı iletişim gereksinimlerini karşılamak için en uygun spektrumu ele geçirebilmeli.
- **Spektrum Değiştirme (spectrum mobility)**: Daha iyi iletişim sağlayabilmek için gerektiğinde çalışma spektrumunu değiştirebilmeli.
- **Spektrum Paylaşma (spectrum sharing)**: Aynı spektrum bandını kullanan ikincil kullanıcılar arasında adil bir paylaşım sağlanabilmeli.

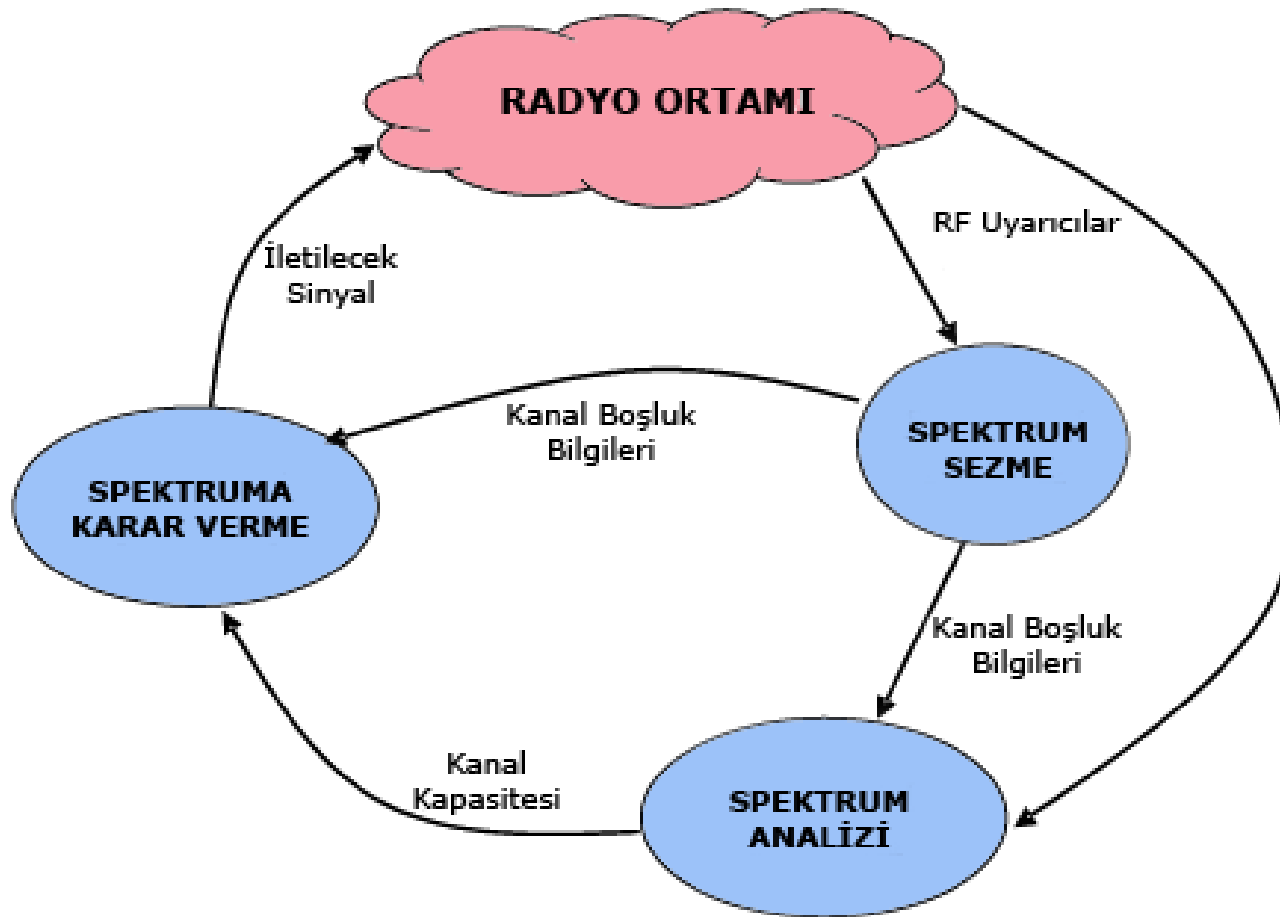
CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR'nin Karakteristik Özellikleri

- 1. Kavramsal Yeteneđi (cognitive capability):** Dinamik radyo ortamına adapte olabilmek için ortamını gerçek zamanlı olarak takip edebilme ve uygun iletişim parametrelerine karar verebilme yeteneğidir. Spektrum evriminin temel adımları aşağıdaki gibi verilebilir:
 - Sezme: Kavramsal radyo uygun spektrum bandlarını izleyebilmeli, bu bandlardan bilgi edinebilmeli ve boyece spektrum boşluklarını yakalayabilmeli.
 - Analiz: Spektrum sezme aşamasında elde edilen spektrum boşluklarının karakteristikleri değerlendirilir.
 - Karar: Sonuçta, spektrumların karakteristiklerine ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre en uygun spektruma karar verilir.

CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR Çalışma Çevrimi



CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR'nin Karakteristik Özellikleri

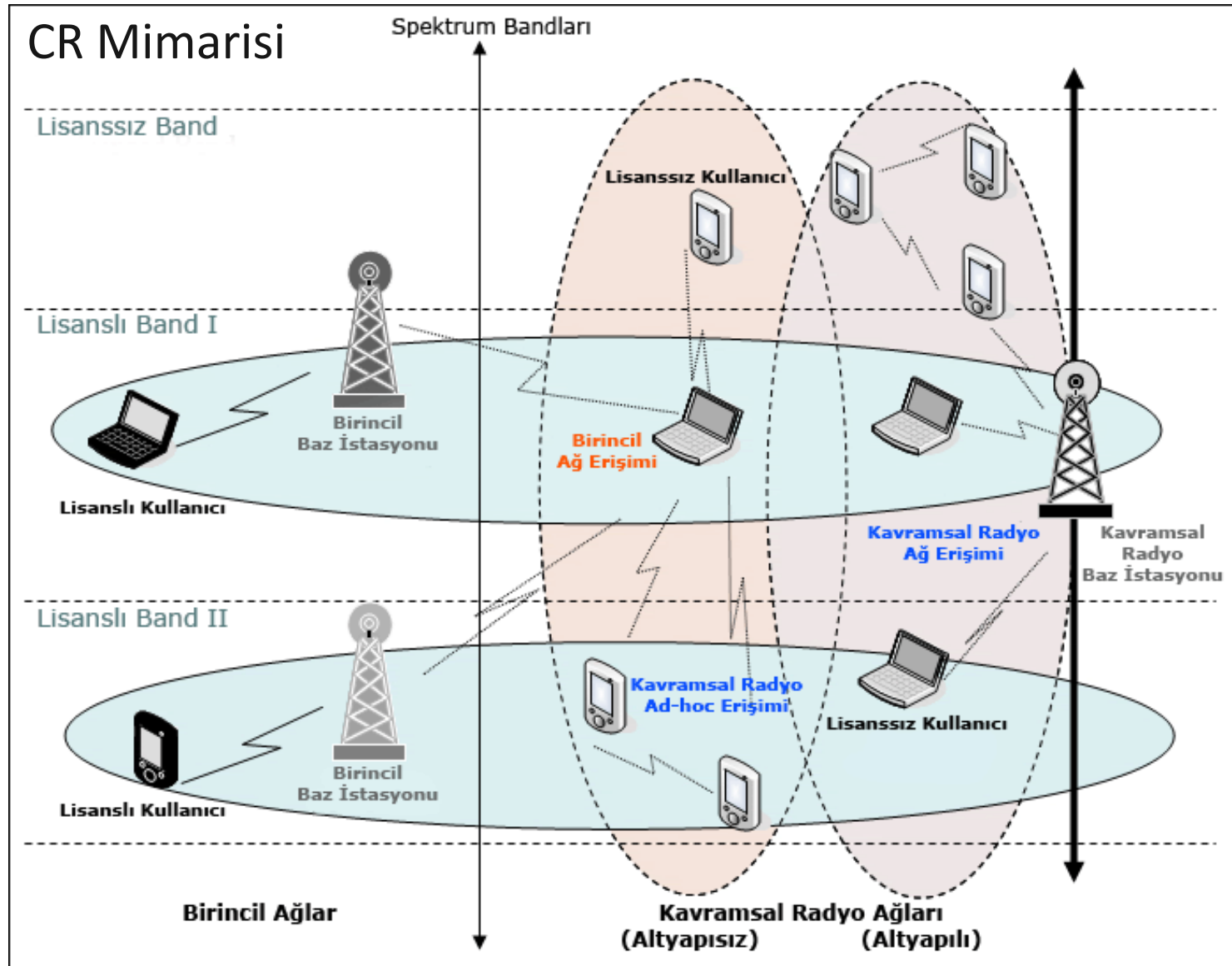
2. **Yeniden Ayarlanabilirliği (reconfigurability)**: Donanım elemanlarında herhangi bir değişim gerçekleştirmeden farklı frekanslara geçildiğinde çalışma parametrelerini otomatik olarak ayarlayabilme yeteneğidir. Yeniden ayarlanabilecek parametreler şunlardır:
- Çalışma frekansı: En uygun frekans kanalını seçme ve çalışma frekansını değiştirme.
 - Modülasyon: En uygun modülasyon tekniğini seçme (daha yüksek spektral verim ve daha az bit hata oranı).
 - İletim Gücü: Diğer kullanıcılarla spektrumu paylaşmak ve çakışma olasılığını azaltmak için güç ayarı.
 - İletişim Teknolojisi: CR ürünleri, farklı iletişim sistemleriyle müşterek ve uyumlu çalışabilmelidirler.

CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR'nin Erişim Modelleri

- CR ağlarda üç farklı erişim yöntemi önerilebilir:
 - CR Ağ Erişimi (**centralized**): İkincil kullanıcılar kendi baz istasyonlarına lisanslı ve lisanssız bandlardan erişebilirler.
 - CR Ad-hoc Erişimi (**distributed**): İkincil kullanıcılar, ad-hoc (MANET) bir ağda lisanslı ve lisanssız spektrum bandlarını kullanarak iletişim kurabilir ve birbirlerine erişebilirler.
 - Birincil Ağ Erişimi: Lisanssız kullanıcılar lisanslı bandları kullanarak birincil baz istasyonlarına da erişebilirler.
- Kontrol işlemleri için ayrılmış ortak kontrol kanalı gerekli?
(**common control channel**)

CR Gereksinimleri ve Tasarımı



CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR ile İlgili Sınıflandırmalar

- Mimari (**architecture**)
 - Merkezi (**centralized**): Hücre içi iletişim, merkezi baz istasyonu tarafından kontrol ediliyor
 - Gömülü (**distributed**): Her CR kullanıcısı kendi başına çalışıyor
- Spektrum ayırma davranışı (**spectrum allocation behaviour**)
 - Müşterek çalışma (**cooperative**): CR düğümlerinin davranışları diğerlerini etkiliyor ve aralarındaki verileri paylaşıyorlar
 - Yalnız çalışma (**non-cooperative**): Sadece elinizdeki CR düğümü ile ilgileniyor, bencil çalışan ürünler olarak niteleyebiliriz
- Spektrum erişim tekniği (**spectrum access technique**)
 - Aynı güç seviyesinde (**overlay**): lisanslılar olmadığı zaman iletişim
 - Düşük güç seviyesinde (**underlay**): lisanslıların hissedemeyeceği seviyede iletişim (sadece arka planda gürültü olarak duyacaklar)

CR Gereksinimleri ve Tasarımı

Ortak Kontrol Kanalı

- İletişim ve kontrol için ayrılmış bir kanala ihtiyaç var
- Önceden belirlenmiş bir veya birkaç frekans bandı kontrol kanalı olarak atanacak !
- Kullanıcılar iletişimden önce bu kanalı kullanarak anlaşabilecekler
- Böylece iletişim için hangi kanalı seçeceklerine karar verirler
- Tek radyo ile gerçekleştirilebilir, kontrol kanalı için ikinci bir radyo da kullanılabilir
- Kontrol kanalı kullanmayan çalışmalar da mevcut
 - İletişimde bulunmak isteyen her CR kullanıcısı önceden belirlenmiş sekanslarda atlamaya başlıyor.
 - Bu sekanslar belli bir süre içinde aynı kanala geçmeyi garantiliyor.

CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR Uygulama Alanları

- **Kiralanmış Ağlar**
ÖR: Yeni bir GSM operatörü **İTÜ-CR-cell**
 - Diğer operatörlerin hazır sistemlerini boştayken kullanabilsin
 - Onların kullanıcılarını rahatsız etmeme garantisi verebilsin
 - Kullanıcılara daha düşük ücrete erişim imkanı sağlayabilir
- **Örgüsel Ağlar (Mesh Networks)**
ÖR: **İTÜ-CR-mesh** ağ tasarımı
 - Fakülte ve kütüphanelerdeki erişim noktalarına CR tabanlı erişim
 - Kullanımda olmayan diğer kanallardan da yararlanılabilir
 - Daha düşük maliyete (kanal bedeli ödemedi), daha yüksek başarımlı (throughput)

CR Gereksinimleri ve Tasarımı

CR Uygulama Alanları

- **Acil Durum Ağları (emergency network)**
ÖR: **TR-CR-Acil** ağ tasarımı
 - Bütün kritik bölgelere CR düğümleri yerleştirilir (tüneller, kenar köyler, tatil merkezleri)
 - Herhangi bir doğal felakette, GSM merkezleri devre dışı kalabilir
 - Olası tüm boş kanallardan yararlanarak, acil durum bildirimini
- **Askeri Ağlar (Military Networks)**
ÖR: **TSK-CR-net** ağ tasarımı
Savaş gibi zorlu durumlarda:
 - Farklı iletişim kanalı, modülasyon ve kodlama tekniği seçme imkanı
 - Güvenilirliği arttırmak için kanal değiştirme

CR Tasarım Problemleri

Fiziksel Katman

- Spektrum sezme: Lisanslı kullanıcıları belirleme yöntemleri
 - Yalnız başına lisanslıları belirleme (*non-cooperative transmitter detection*)
 - Eşleşen filtre yöntemi (*matched filter detection*)
 - Enerji seviyesi ile belirleme (*energy detection*)
 - Çevrimsel salınımdan yararlanarak belirleme (*cyclostationary feature detection*)
 - Müşterek çalışma (*cooperative detection*)
 - Çakışmaya dayalı belirleme (*interference based detection*)
- Fiziksel katmanın yapısı:
 - Fiziksel katmandaki metriklerin belirleme
 - senkronizasyon işlemi, başarımın artırılması, servis kalitesinin korunması, kaynak atamanın geliştirilmesi ...

CR Tasarım Problemleri

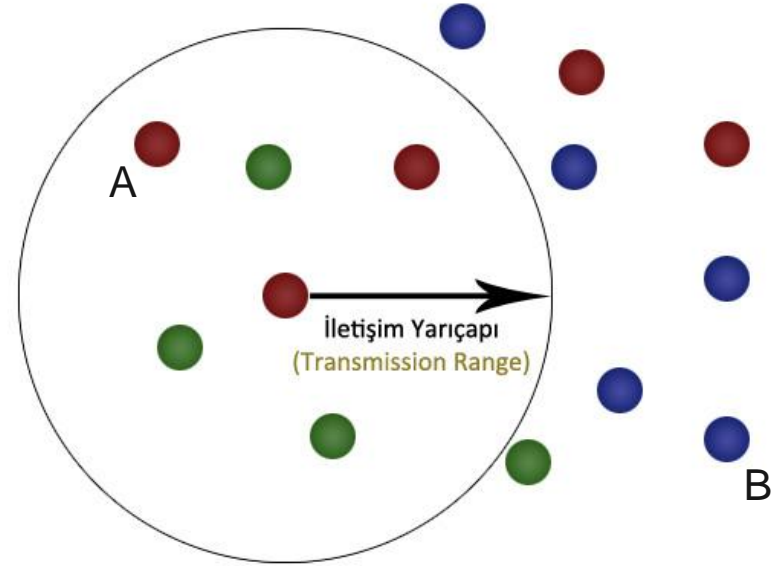
MAC Katmanı

- Bir sekme (**hop**) uzaklıktaki radyolar arası performans iyileştirme yöntemleri
 - Lisanslıları koruma (**protection of PUs**)
 - Adil spektrum paylaşımı (**fair spectrum usage**)
 - Yüksek başarımlı elde etme (**increase aggregated utilization**)
 - Erişim gecikmesini azaltma (**decrease access delay**)
- Bulunduğu ortamdaki MAC iletişimini bilme/tanıma
- Farklı ortamlara göre adapte olma

CR Tasarım Problemleri

Ağ Katmanı

- Sekme sayısının fazla olduğu durumlarda yönlendirme
- Oldukça zor bir problem



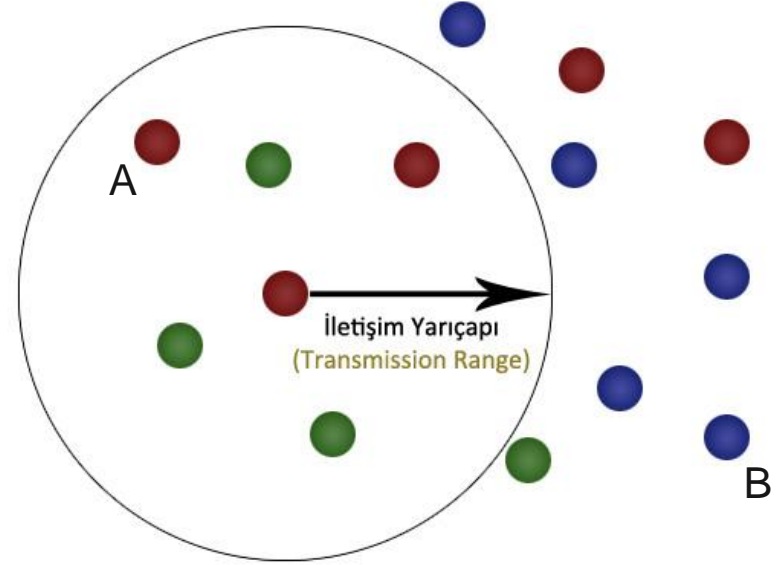
ÖR:

- Düğümün rengi: Radyonun iletişimde bulunduğu kanal
- İletişim yarıçapı: Seçilen güç seviyesine göre ulaşılabilen iletişim uzaklığı (genellikle 1.5 sekme uzaklığı seçilir)
- A kullanıcısı B kullanıcısına paket gönderecek
- Problemler:
 - Tek iletimde ulaşamıyor
 - Aynı kanalda değiller

CR Tasarım Problemleri

Ağ Katmanı

- Her komşuda kanal değiştirme?
- Kendi kanalından paketi iletebildiğin kadar ilet, tıkanınca kanal değiştir?
- Kontrol kanalındaki iletişim bilgilerinden yararlan
- En uygun ara düğümlerin belirlenmesi (**relay selection**)
- Amaca doğru karar ver:
 - En az sekmede hedefe ulaşmak
 - Ağ içinde en yüksek başarıımı elde etmek
 - Çakışma sayısını azaltmak
 - En az sayıda kanal değiştirme ile iletişimi gerçekleştirmek



CR Tasarım Problemleri

En Uygun Kanal Seçimi

- İletişim yapmaya karar verildiğinde
 - Bulunduğu ortamdaki tüm kanallar taranmalı mı?
 - Kanal tarama maliyeti (%90 doğru tanıma için yaklaşık 15ms)
 - İlk boşta bulduğun kanala geçilmeli mi?
 - İstenen band genişliğini veriyor mu?
 - İstenen erişim gecikmesi limitlerini sağlayacak mı?
 - Birinciller ne zaman gelecek?
 - Kanal tarama işleminde kaç adet kanal taranmalı?
 - Bana uygun kanal bulduğumda iletişim yapacağım düğüm için de aynı kanal uygun mu?
 - Yerel sezme farklılıkları

CR Tasarım Problemleri

Kontrol Kanalı

- Kontrol kanalının iletişim yarıçapının belirlenmesi
 - Küçük
 - Hücre içi az sayıda kullanıcı
 - Düşük kontrol kanalı kullanımı
 - Farklı hücreler arası iletişim maliyeti
 - Büyük
 - Hücre içi çok sayıda ikincil kullanıcı
 - Kontrol kanalı tıkanma problemi (tüm iletişimi durdurabilir)
 - Az sayıda hücreler arası iletişim gereksinimi
 - Adaptif
 - Kontrol kanalı yoğunluğuna göre denge sağlanması
 - Kontrol kanalının boyutunu değiştirme aşamasının tasarımı

CR Tasarım Problemleri

Oyun Teorisi

- Kullanıcıların bencil davranışlarını önlemek için oyun modeli
- Fiyatlandırmada denge sağlanması
- Fiyat kontrolü birincil baz istasyonlarının elinde
 - Nash dengesinden daha fazla kar elde etmek için fiyatları güncellerse, optimal çözümden uzaklaştığından karı düşer
- Birincil kullanıcılar kullanılmayan kanalları kiralayarak kazançlarını arttırmaya çalışacak
- İkincil kullanıcılar ise gerekli iletişim maliyetini en ucuza getirmeye çalışacaklar

CR Tasarım Problemleri

Örnek Çalışmalar

- Lisanslıları koruyan (sınırlandıran) ve lisanssızlar arası adil iletişim sağlayan MAC protokolü tasarımı
 - WiFi ortamındaki tıkanmayı önlemek için üstel geri çekilme algoritmaları kullanılır
 - Farklı servis kalitelerine (QoS = quality of service) farklı öncelikler atanmıştır.
 - AIFS: rastlantısal bekleme süresi
 - CW: çakışma penceresi boyutu
- Lisanssız kullanıcılar için daha büyük AIFS ve daha büyük CW seçilir
- Öncelik lisanslı kullanıcılara verilir
- Ortamda lisanslı kullanıcı olmadığında, ikincil kullanıcılar ortamdaki boşluklardan faydalanır

CR Tasarım Problemleri

Örnek Çalışmalar

- Kanal Değişirme Kararı Optimizasyonu
 - Her birincil kullanıcı ile karşılaşıldığında kanal değiştirelim mi?
 - Kanal tarama maliyeti
 - Kontrol kanalı üzerinden haberleşme maliyeti
 - Frekans ve modülasyon parametrelerinin ayarı maliyeti
 - Bazen lisanslı kullanıcıların aktivitelerini bitirmelerini beklemek daha yararlı olabilir
 - Statik kanal değiştirme kararı yerine, adaptif doğrusal bir model kullanılabilir
 - Daha yüksek başarımlar
 - Daha düşük erişim gecikmesi

CR Tasarım Problemleri

Örnek Çalışmalar

- Jetonlu kontrol kanalı erişimi (**token based control channel access**)
 - Çok sayıda kullanıcı olduğunda kontrol kanalı darboğaza dönüşür
 - CSMA tabanlı yöntemlerde uzun süreli bekleme oluşabilir
 - Jetonlu ve sıralı erişimle kontrol kanalı erişim süresi için üst limit belirlenebilir
 - En yüksek bekleme süresi sınırlandırıldı
 - Ortamda çok fazla kullanıcı olduğunda daha yüksek başarımlar ve daha düşük gecikmeler elde edildi

CR Tasarım Problemleri

Örnek Çalışmalar

- Merkezi sistemde çalışan bir CR ağı için en uygun kanal atama işleminin evrimsel algoritmalar (EA) yardımıyla gerçekleştirilmesi
 - Belli bir ortama dağılmış N ikincil kullanıcı, M iletişim kanalı
 - Kullanıcılar için kanalların bir kısmı dolu (lisanslı kullanıcılar)
 - En uygun kanal atamanın gerçekleştirilmesi
 - Boştaki kanalların seçimi
 - Komşu ikincil kullanıcılara aynı kanalı vermeme
 - Problem boyu büyüdükçe, en uygun seçim zorlaşır
 - Evrimsel algoritmalarla optima yakın çözümler kısa sürede bulunabilir
 - Lokal değişimlerde tüm sistemi yeniden hesaplamak yerine, EA kullanılarak daha kolay uyum sağlanır
 - Küçük ağlarda EA kullanmak daha maliyetli

Sonuç

- Yeni teknolojiler için ayırabileceğimiz çok fazla frekans kalmadı
- CR, spektrum yetmezliği ve ayrılan kısımların yeterince kullanılmaması problemleri için gelecek vaadeden bir çözüm önerisi
- CR konusu hala oldukça yeni bir çalışma konusu
- Çözömlenememiş birçok araştırma alanı mevcut
- Etkili çalışan bir CR tasarımına ihtiyaç var
- Standart haline gelip ucuza üretildiğinde, pratik hayattaki birçok alanda kullanılabilir
- Daha etkili spektrum kullanımı ve güvenlik olanakları sağlayabilir

Cognitive Radio: Bilimsel, Kavramsal, Fırsatçı bir Radyo

Referanslar

[ICR] İTÜ Cognitive Radio Çalışma Grubu <http://cr.cs.itu.edu.tr/>

[Fet] B. Fette, "Cognitive Radio Technology," Communications Policy and Spectrum Management, Elsevier, 2006, pp. 29-71.

[Zha] Q. Zhao and B. M. Sadler, "A survey of dynamic spectrum access: Signal processing, networking, and regulatory policy," IEEE Signal Processing Mag., pp. 79-89, May 2007.

[Aky] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, M.C. Vuran, and S. Mohanty, Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey, Computer Networks Journal "Elsevier Computer Networks Journal." 50(13), pp. 2127–2159 (Sept. 2006).

[Kah] B. Kahraman ve F. Buzluca, "Protection and fairness oriented cognitive radio MAC protocol for ad hoc networks (PROFCR)," in 2010 European Wireless Conference (EW), pp. 282-287, 2010.

DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER!

Beycan Kahraman (kahramanb [at] itu.edu.tr)

Cognitive Radio Çalışma Grubu: cr.cs.itu.edu.tr