

Uydu Sistemleri ile Tümlleşik Bilişsel Ağlar: Yeni Bir Mimari

Suzan BAYHAN, Gürkan GÜR, Fatih ALAGÖZ

Uydu Ağları Araştırma Laboratuvarı (SATLAB), Bilgisayar Müh. Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi
{bayhan, gurgurka, alagoz}@boun.edu.tr

Özet: Telsiz teknolojilerin yaygınlaşması iletişim dünyasında spektrum yönetimini yaşamsal bir öneme sahip hale getirmiştir. Radyo spektrumu için oluşan aşırı talep nedeniyle frekans bantları sadece bir değil birçok değişik uygulama için atanmaktadır. Buna rağmen spektrum azlığı aşılamıyormuş gibi gözükten bir sorun olarak sürekli hissedilmektedir. Bu olguya karşılık, çeşitli araştırmaların spektrum kullanımının bazı bantlarda çok düşük olduğunu işaret etmesi, yaşanan sorunun asıl nedeninin spektrumun kendisi değil spektrumun verimli ve iyi bir şekilde yönetilememesi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, aşırı kalabalık ve verimsiz spektrum kullanımıyla mücadele edebilmek için daha “akıllı” spektrum kullanımını sağlayan Dinamik Spektrum Erişimi (DSE) kavramı düşünülmüştür. Ek olarak, farklı birçok erişim teknolojileri kullanan aygıtların birlikte işlerliği (inter-operability) daha akıllı radyoların geliştirilmesi için başka bir itici güç olmuştur. Radyo aygıtlarının donanım tabanlı değişiklikler yerine yazılım tabanlı olarak otomatik ayarlanabilmesi ve yeni özelliklere kavuşabilmesi özellikle acil durum ve afet sonrası iletişim için kritik bir yetenektir. “Bilişsel” ya da “Akıllı radyolar” (cognitive radios) bu sorunlara çözüm getirmeyi hedeflemektedir. Bu makalede, spektrum atanması ve dağıtımının akıllı baz istasyonlarından gelen bilgilere göre uydu-merkezli olarak yapıldığı uydularla tümlleşik bir akıllı radyo ağ mimarisi tanımlanacak ve olası getiri-götürüleri açısından analiz edilecektir.

Anahtar Sözcükler: Spektrum Dağıtımı, Akıllı Radyo, Yazılım Tanımlı Radyo, Uydu Ağları

A Novel Satellite Integrated Architecture For Next Generation Cognitive Radio Networks

Abstract: The allocation of the spectrum has become an important issue with the proliferation of wireless technologies. Due to high demand for radio spectrum, the radio frequencies are allocated to not only a specific technology but a couple of them instead. However, it is still an issue that the spectrum is a scarce resource. On the other hand, research results conducted by some research and industry organizations show that the spectrum utilization at some bands (especially over 3 GHz) is very low. This leads to a conclusion that the spectrum is not scarce, but the problem is caused by inefficient spectrum allocation which is static. Therefore, in order to combat the overcrowded bands and inefficient spectrum utilization there is a need for cleverer spectrum assignment policies. Dynamic Spectrum Access is a new concept which promises to provide more efficient spectrum use. Additionally, this type of systems can enhance the interoperability of different systems which use various frequencies and operating parameters. Online update of operating parameters of radio devices by software rather than employing hardware changes is an essential capability especially for post-disaster communications and emergency scenarios. Cognitive or Smart radios are the radios which can provide a solution for such situations. In this paper, a satellite integrated smart radio network will be introduced and the further research will be listed.

Keywords: Spectrum Allocation, Smart Radio, Software Defined Radio, Satellite Networks.

1. Giriş

Belirli otoriteler tarafından düzenlenen spektrum kullanımındaki verimsizliğin farkedilmesi ile spektrumun statik olarak dağıtılması yerine dinamik olarak kullanılmasını öneren teknolojiler son zamanlarda dikkat çekmektedir. “Dinamik spectrum erişimi” olarak adlandırılan bu fikir ilk olarak Joseph Mitola III ve Gerald Q. Maguire tarafından önerilmiştir [1]. Bu yöntemi kullanan ve “yeni nesil uyarlamalı(adaptif) radyolar” olarak adlandırılan sistemler kullanıcı ve şebekenin ihtiyaçlarına daha iyi yanıt verebilecek bir “akıl” katmanının eklenmesi ile oluşturulurlar. Literatürde “akıllı”, “bilişsel”, “adaptif” gibi farklı şekilde adlandırılan bu sistemlerin IEEE 1900.1 çalışma grubu [2] tarafından yapılan tanımı şu şekildedir:

“Bulunduğu ortamı algılayabilen ve algılama sonuçlarına göre otomatik olarak çıkarım yapabilen radyo sistemleridir. Bu sistemler, bilgi tanımlaması, otomatik çıkarım ve makine öğrenme mekanizmalarını kullanarak iletişimi sağlarlar. Ayrıca dinamik ve otomatik olarak operasyon ortamına bağlı olarak çalışma parametrelerini değiştirebilirler”.

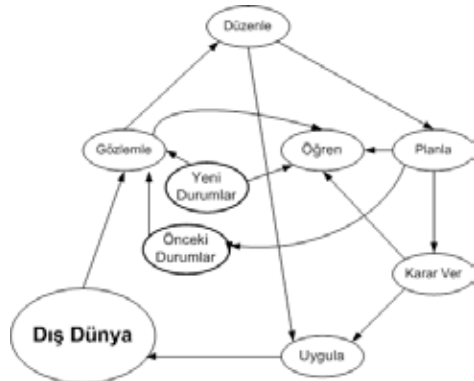
Operasyon değişkenleri yazılım ile değiştirilebilen/belirlenen radio sistemleri olarak tanımlanan Yazılım Tanımlı Radyo (YTR) ve akıllı özelliklere sahip Bilişsel Radyo (BR) sistemlerinin dikkat çekmesindeki bir diğer etken ise GPS, WiFi gibi farklı teknolojiler ile çalışan cihazlar arasındaki birlikte çalışabilirliği geliştirebilecek bir şekilde kullanılacak olmalarıdır. Arzu edilen tüm sistemlerde/tüm ülkelerde çalışabilecek “evrensel telsiz cihaz”ın geliştirilmesidir. YTR bu hayalin gerçekleştirilebilmesi için umut vaat edici görünmektedir. Örneğin, bir ilk yardım senaryosunda taşınabilir bir YTR cihazı farklı radyo cihazları arasında ekstra bir altyapı kurulumu gerektirmeksizin birlikte çalışmayı sağlayabilir. YTR cihazlarının bu şekilde kullanılabilir olması özellikle acil durumlarda kısa zamanda iletişim

ihtiyaçlarının karşılanması ile kamu güvenliği açısından önem taşımaktadır [3].

Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir: Bir sonraki bölümde, akıllı radyolar hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra BR sistemlerin gerçekleştirilmesinde karşılaşılan zorluklardan bahsedilecektir. Bölüm 4’te mevcut çalışmalar ve standardizasyon ile ilgili girişimler özetlenecektir. Bu bölümde ayrıca BR sistemlerinin uydu boyutundaki çalışmalar gösterilmektedir. Sonraki bölümde, BR sistemlerde uydu tabanlı önerilen spektrum yönetimi tanıtılacak ve yürütülen çalışmanın detayları verilecektir. Bölüm 6’da ise sonuç ve yapılacak çalışmalardan bahsedilecektir.

2. Temel Bilgiler ve Tanımlar

BR sistemlerinde karşılaşılabilecek temel kavramlar aşağıda tanımlanmıştır: Şekil 1’de bir bilişsel radyonun çalışma prensibi gösterilmektedir. Dış Dünya ile etkileşim içinde olan BR, gözlemler yaparak çeşitli düzenlemelerden sonra, duruma göre (acil durumlar gibi) planlama yaparak veya yapmadan operasyona geçebilir. Planlama yapan bir BR, aynı zamanda o anki durumu öğrenerek sonraki zamanlarda da ne yapması gerektiğini belirleyebilir. Eğer karşılaşılan durum cihazın içinde bulunabileceği durumlar kümesinde bulunmuyorsa kümeye eklenir. Böylece BR bilgi dünyasını genişletir.



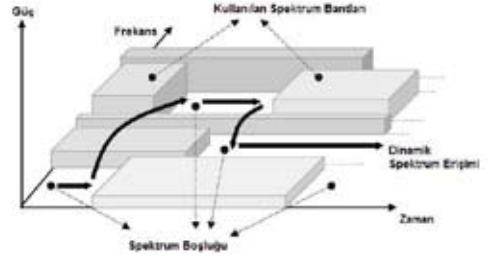
Şekil 1: Bilişsel Radyo Döngüsü

Birincil Kullanıcı (Lisanslı Kullanıcı): Bir lisansı kullanmak için önceliğe sahip olan radyo cihazıdır. Birincil radyo kullanıcısı (BK) lisansı kullanmak için para ödediğinden veya o lisans bu tip kullanıcılara ayrıldığından, ikincil kullanıcılar birincil radyoya ait bir frekans bandını kullanırken eğer birincil radyo gönderime başlamışsa hemen (mümkün olan en kısa zamanda) o bandta yayını kesmelidir. Birincil kullanıcılar, ikincil yani lisanssız kullanıcılardan haberdar değildir. Bu nedenle, BR sistemleri birincil radyo sistemlerine zarar vermeden ve onların yapılarını değiştirmeden kullanılmalıdır.

İkincil Kullanıcı (Lisanssız Kullanıcı): Bir frekans bandını ancak boş olduğunda kullanabilecek olan, birincil kullanıcılara göre daha az önceliğe sahip kullanıcı tipidir. Spektrumu dinleyerek bir frekansın birincil kullanıcı tarafından kullanılmadığını farkederek bu tip kullanıcı, birincil kullanıcıyı farketmediği anda kullanılan bu frekans bandını terketmelidir. Ancak birincil kullanıcının doğru bir şekilde farkedilmesi ve en kısa zamanda ortamın birincil kullanıcıya bırakılması oldukça zor bir problemdir. Birincil kullanıcının hiç bir şekilde zarar görmeden iletimini gerçekleştirmesi bu teknolojinin uygulanması için ilk şarttır. O nedenle kanal en kısa sürede boşaltılmalıdır. IEEE 802.22 [4] standardında “kanal bırakma süresi” olarak adlandırılan bu süreye 2 saniyeden az olmalıdır şeklinde bir sınır verilmiştir.

Spektrum Boşluğu: Frekans bandında kullanılmayan yerlere spektrum boşluğu denmektedir. İkincil kullanıcılar (İK) bu boşlukları bulup birincil kullanıcılar gelene kadar kullanabilirler. Böylece, spektrum daha etkin bir şekilde kullanılmış olur. Ancak, birincil kullanıcıların varlığını tespit edebilmek için ikincil kullanıcılar sürekli frekans dinlemelidir. Bu yüzden, ikincil kullanıcılar yüksek kapasitede güç kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Ayrıca, geniş bir frekans bandını dinleyebilmek için

gelişmiş antenler gerekmektedir. Şekil 2’de Zaman, Güç ve Frekans eksenlerinde kullanıcıların spektrumu dinamik olarak kullanımı gösterilmektedir. Bir T anında hiç bir kullanıcı tarafından kullanılmayan frekans spektrum boşluğudur.



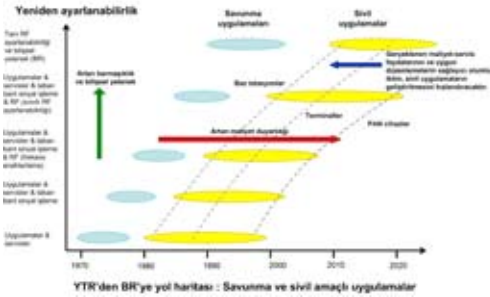
Şekil 2: Spektrum Boşluğu

Politikalar: Radyo cihazlarının uyması gereken kuralların tamamı “politika” olarak adlandırılmaktadır. Politikalar ulusal-uluslararası düzenleme kurumlarının (Telekomünikasyon Kurumu veya ITU gibi kurumlar) belirlediği, iletim yapılan frekans-güç sınırları olabileceği gibi kullanıcının özelliklerine göre (altın, gümüş veya broz kullanıcıların frekansı kullanma özellikleri farklı olabilir) değişebilen kurallar olabilir. Politikalar zamanla değişebileceği gibi iletim yapılan coğrafi konuma göre de değişebilir. Örneğin, askeri bir alanda bir frekansında yayın yapmak yasak olabilir. Tüm bunlar dikkate alınırsa, cihazın geçerli politikalarla haberdar olması için cihazlar üzerindeki politikalar dinamik olarak güncellenmelidir. Politikalar, bilgisayar sistemlerinin anlayabileceği şekilde yazılmalıdır. Bu konuda XML benzeri diller geliştirilmektedir.

Girişim Sıcaklığı: Bir alıcı ünitesinde, istenmeyen sinyal yollayıcılar ve gürültü kaynakları tarafından oluşturulan ve bu alıcıda hissedilen güç miktarının ölçüsüdür. Bir P şiddetindeki güç kaynağının kendinden d kadar uzaklıkta bir noktada oluşturduğu girişim, P/d^2 ile doğru orantılıdır.

Frekans Tarama: Birincil kullanıcılar bir frekans bandını sürekli kullanmadıklarından, ikincil kullanıcılar birincil kullanıcı iletişimine zarar vermeden bu boşluklarda iletim yapabilirler. Bu da ikincil kullanıcının ortamı dinlemesini ve birincil kullanıcının varlığını mümkün olduğunca kısa sürede tespit etmesini gerektirir. BK özellikle kanal gölgenmesi gibi tespitin daha da zorlaşacağı durumlarda oldukça problemlidir.

Dinamik Politikalar: Eski nesil klasik radyolar, üretim aşamasında birtakım politikalara uyacak şekilde tasarlanırlar. Ancak, sonrasında gerekli değişiklikler kullanıcıların ya da cihazların tek başlarına değil de fabrika ortamında yapılarak gerçekleştirilir. Öte yandan, BR sistemlerinde radyo otomatik olarak güncellemeleri yazılım olarak yükleyebilir. Bu noktada, kapsamı alanı geniş olan uydular kullanılabilir.



Şekil 3: YTR sistemlerinden BR sistemlerine doğru geçiş için öngörülen yol haritası

DSE sistemlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle ortamdaki frekans bantlarının dinlenmesi, birincil kullanıcının dinlenen frekans- ta iletişimde olup olmadığı belirlenebilmesi ve boş olarak belirlenen bantın lisanslı kullanıcı geldiği anda hemen boşaltılması gerekmektedir. Burada spektrum dinleme işlemine genel olarak “spektrum dinleme” ve birincil kullanıcının varlığının araştırılmasına da “birincil kullanıcı tespiti” adı verilmektedir. Birincil kullanıcı tespitinde bir takım problemler mev-

cuttur. Öncelikle tespit işleminin başarılı bir şekilde sinyal işleme yeteneğine sahip radyo alıcı/vericileri gereklidir. Telsiz sistemlerde de rastlanan “saklı düğüm problemi” BR sistemleri için de söz konusudur.

BR alanı yeni bir araştırma alanı olduğundan bu konuda TCP/IP protokol yapısında her katmanda yapılması gereken çalışmalar bulunmaktadır. En önemli konulardan biri; birincil kullanıcıların en az hata ile en etkin şekilde ve en kısa sürede tanımlanmasıdır. Birincil kullanıcıların tespiti için temelde iki çeşit frekans dinleme yöntemi bulunmaktadır;

- Yerel Dinleme: Her BR cihazı kendi frekans dinleme bilgilerine dayanarak bir frekansın dolu olup olmadığına karar verir.

- Dağıtık Dinleme: Her BR cihazı kendi frekans dinleme bilgilerini diğer BR cihazları ile paylaşarak bilgisini güçlendirir ve böylece frekansın kullanımı hakkında diğer bilgilerden de yararlanarak bir sonuca varır.

Ayrıca, radyo alıcı ve vericilerin yeterli donanım kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bunlar dışında öğrenme mekanizmaları, yönlendirme ve üst katman problemleri (servis kalitesi), kaynakların dağıtılması, ve güvenlik üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Genel olarak “akıllı” radyolar nitelendireceğimiz YTR ve BR sistemlerini içeren radyoların ortaya çıkması ve gelişimini gösteren yol haritası Şekil 3’te verilmiştir.

3. Karşılaşılan Zorluklar

BR, spektrumun etkin şekilde kullanımını sağlamak, esneklik ve birlikte çalışırılığı arttırmak açısından umut vaat edici olmakla birlikte geliştirilmesi için bünyesinde pek çok zorluğu barındırmaktadır. Bu zorluklar; bir önceki bölümde bahsedilen BK tespiti, İKlar arasında bilgi paylaşımı ve senkronizasyonu, BR yete-

neklerine sahip donanım (anten gibi) tasarımı ve geliştirilmesi. Bilişsel radyo tasarımı konusunda detaylı bilgi [5] ve [6] numaralı kaynaklarda bulunabilir.

Her İK kendi bilgisini diğer İKlarla paylaşarak çalıştığı ortamdan daha başarılı bir şekilde haberdar olabilir ve önemli bir problem teşkil eden BK tespitini daha yüksek başarımda gerçekleştirebilir. Bu nedenle tüm radyoların, akıllı cihazların sensörleri ile edindikleri bilgileri makinenin anlayacağı şekilde tanımlanması gerekir ve bunun için XML tabanlı özel diller geliştirilmektedir.

BR sistemlerde ikincil kullanıcıların bir kanalı tüm iletişim süresince kullanması mümkün olmayabileceğinden, bu hat kırık hale gelebilir. Bu durumda o hat üzerindeki paketler bir başka hatta (frekansa) yönlendirilene kadar düşürülebilirler. Bu nedenle kaynak ve hedef arasındaki hattın ne sıklıkta kırıldığına dikkate alınması iletişim kalitesinin sağlanabilmesi açısından önem taşımaktadır [7]. YTR radyo yazılımının otomatik güncellenmesi ve konfigürasyonunu gerçekleştirdiğinden beraberinde istenmeyen güncellemelerin/atakların yapılması gibi güvenlik problemlerini de doğurur.

BR sistemlerinin gerçekleştirilebilir olması çok karmaşık, gelişmiş donanımlar gerektirmektedir. Geniş bir bantın dinlenmesi hem oldukça güç harcayıcı bir işlem olduğundan hem de daha kolaylıkla geliştirilebilen daha ucuz sistemler gerektiğinden tasarım ve donanım konuları da üzerinde çalışılması gereken alanlardır.

4. Önceki Çalışmalar ve Standartlaştırma

BR fikri hala emekleme döneminde olsa da, genel kavramları standartlaştırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Genel olarak, IEEE 802.22-802.11h, YTR Forumu (SDR Forum), FCC, IEEE, DARPA ve A.B.D. Savunma Ba-

kanlığı (US DoD) standardizasyon konularında çalışmaktadırlar. IEEE 1900.1 Çalışma Grubu, terminolojiyi netleştirmeyi ve bu teknolojilerin birbirleriyle ilişkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu standart, teknik olarak net tanımlamaları ve spektrum yönetimi, politika tanımlı radyo, uyarlanabilir radyo, yazılım tabanlı radyo ve benzeri teknolojilerde temel kavramların açıklamalarını sağlayacaktır. IEEE 802.22 Çalışma Gurubunun [4] hafif yüklü TV bantlarında fırsatçı spektrum kullanımını konusunda çalışmaktadır.

BR ortak çalışabilirliği arttıracak bir teknoloji olduğundan askeri kurumlar tarafından da oldukça önemli bir araştırma alanı olarak görülmektedir. DARPA Yeni Nesil (XG) [8] haberleşme teknolojileri programı yeni nesil spektruma erişim teknolojisi geliştirmektedir. XG Çalışma Grubu raporunda amacını spektrumun azlığı ve kurulum problemlerini adreslemek olarak belirlemiştir. Daha spesifik olarak, DARPA XG Çalışma Grubu amacını girişimle sınırlı bir şekilde spektrum fırsatlarını algılama, belirleme ve bu fırsatlardan yararlanmayı içeren teknolojilerden oluşan yeni bir spektruma erişim davranışını araştırmak olarak tanımlamaktadır. Buna ek olarak, bu fırsatçı spektruma erişim davranışlarını makine tarafından anlaşılabilir politikalar kullanarak daha esnek ve takip edilebilir bir şekilde kontrol eden yöntem ve teknolojilerden oluşan yeni bir yönetmelik kontrol rejimi oluşturmak üzerinde de çalışmaktadırlar.

Ortaklaşa Taktiksel Radyo Sistemi (Joint Tactical Radio System - JTRS) Amerikan ordusunun zor bir problem olan radyo birlikte çalışabilirliği problemini çözmek için "birlikte çalışabilirlik için ortak mimari" sağlamayı amaçlamaktadır. Birlikte çalışabilirlik problemleri aynı zamanda her ülkenin kendi radyo sisteminin olduğu ortak operasyonlarda da bir engeldir. Yakın zamanda, barışı sağlama, felaket yardım sistemleri ve milli güvenlik gibi

teknolojileri için daha yeterli radyo cihazları (SRAM, FPGA, İşlemci dizileri gibi) gerekmektedir. Raporda, günümüz teknolojisinin bunun için henüz yeterli olmadığı belirtilmektedir.

Bu makalede, biz uyduların farklı bir şekilde kullanımına odaklanacağız.

5. Önerilen Mimari: Akıllı Radyolar İçin Merkezi Uydu Yöneticisi

Uydular yeryüzünden yüksekliklerine bağlı olarak değişen oldukça büyük kapsama alanına sahiptir ve bu özellikleri nedeniyle tüme gönderim ve çoka gönderim servisleri için oldukça elverişlidirler. Bu özelliklerinin yeni nesil akıllı radyo sistemleri için önemi ise cihazlara yazılım tabanlı güncellemelerin kolayca yapılabilmesini sağlaması (politika güncelleyici) ve aynı zamanda “politika yapıcı” olarak görev yapabilmesidir. Uyduların kapsama alanlarındaki kullanıcılar, şebekeler hakkında bilgiye sahip olduklarından BR sistemlerinde uyduların kullanılmasının pek çok avantajı vardır. Öncelikle, politika güncelleme mesajlarının çoka gönderim şeklinde tüm cihazlara iletilmesi ile cihazların uymaları gereken operasyon kurallarını kolaylıkla almaları sağlanacaktır. Aynı zamanda uydular, kapsama alanındaki ortam özellikleri ve şebeke durumundan haberdar olmaları nedeniyle de bu alandaki spektrumun kullanımını ve etkin bir şekilde dağıtılmasını sağlayacaktır. Şekil 4’te temel mimarisi gösterilen önerilen sistemde uydu, kapsama alanındaki Akıllı Radyo İstasyonlarından (Smart Base Station-ABI) geribesleme bilgileri olarak (her baz istasyonu kapsamındaki kullanıcının hangi frekansta ne kadarlık bir güçte yayın yaptığı vb.) sistem hakkında bilgiyi topladıktan sonra, sistemdeki kullanıcıların özelliklerine göre (altın kullanıcı, gümüş kullanıcı, bronz kullanıcı gibi) spektrumun dağıtımını yapmaktadır.

a. Varsayımlar ve Problem Formülasyonu
İncelenen sistemde, 1200 km yükseklikte sadece bir LEO uydu ve yer segmentinde BR sistemi bulunmaktadır. LEO tipi bir uydunun seçilmesindeki ana sebep, alçak yörüngeden dolayı yaşanacak olan kısa süreli gecikmelerdir. Yer segmentinde üç çeşit eleman bulunmaktadır; Akıllı Baz İstasyonları (ABİ), Birincil ve İkincil Kullanıcılar. ABİ kapsamı alanındaki ikincil kullanıcılardan geribesleme olarak spektrumun nasıl kullanılacağını yöneten uyduya bilgileri ileten bir ara düğümdür. Uydu ve akıllı cihazlar arasındaki her türlü trafik ABİler üzerinden taşınmaktadır. Bir ABİ kapsamı alanının IEEE 802.22 [8] baz istasyonları gibi 20 kmlik bir yarıçapa sahip olduğu kabul edilmiştir.

Her ABİ uydu ile çift yönlü iletişim hattına sahiptir. ABİler düzenli olarak (periyodik) kapsamı alanındaki ikincil kullanıcıların ölçüm değerlerini toplarlar. Bu ölçüm değerleri ilerleyen kısımlarda “Ortam Durum Raporu” (ODR) şeklinde ifade edilecektir. ODR toplama zaman aralığına “Raporlama Aralığı” denilmiştir ve T_r ile gösterilmektedir. ODR bilgisi, her kullanıcının her bir frekans için ölçtüğü girişim değerlerini ve ikincil radyonun yayın gücünü içerir. Bu senaryoda İK hareketli iken, BKlar sabit olarak düşünülmüştür. Her ABİ toplamış olduğu ODWRları birleştirerek ODR_i’yi oluşturur ve uyduya yollar. Ayrıca İkincil kullanıcıların GPS gibi yer belirleme cihazlarına sahip olduğu ve ABİ tarafından yollanan frekansa geçiş yapabilme yeteneğine sahip olduğu kabul edilmiştir.

ABİlerden gelen bilgiler ile uydu kapsamı alanındaki “frekans manzarası”ni görebilir ve bir objektif fonksiyonu dikkate alarak frekans dağıtılmasını düzenleyebilir. Objektif fonksiyon, kullanıcı uygulama ihtiyaçlarına veya kullanıcı öncelik sırasına bağlı herhangi bir fonksiyon olabilir. Bu çalışmada, objektif fonksiyon ikincil kullanıcıların toplam veri trafiğinin azami dereceye çıkarılmasıdır. Ancak bu amaçla birlikte kullanıcıların öncelik sıraları dikkate

alınacaktır. Öncelik sırası, servis için ödenen para olabilirken, askeri bir senaryoda rütbelere bağlı olarak değişebilir. Benzer şekilde uygulamanın gereksinimlerine göre de öncelik sırası atanabilir. Optimizasyon problemi:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^N F_i$$

F_i İKi için fonksiyonu gösterir.

Benzetim senaryosu olarak 100 km yarıçapında ABİ, İK ve BKlardan oluşan bir sistem düşünülmüştür. Benzetim modeli OPNET Modeler™ 11.5 [13] benzetim aracında oluşturulmuştur. Modellenen sistemin OPNET ekran görüntüsü Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. OPNET simüle edilen örnek ağ yapısı.

Bu makalede tasarlanan sistemde birincil kullanıcı (BK) ve ikincil kullanıcı (İK) olmak üzere iki tip kullanıcı mevcuttur. İK düğümleri dinamik bir şekilde spektruma erişen daha az önceliğe sahip düğümlerdir. Bu düğümler ABİlerin yönetimindedirler. BK düğümleri IEEE 802.11 f_1 , f_2 , f_3 olarak göstereceğimiz üç frekansta çalışmaktadırlar. İlk iletişimin daha önceden belirlenmiş bir sinyalleşme kanalı üzerinden yapıldığı varsayılmaktadır.

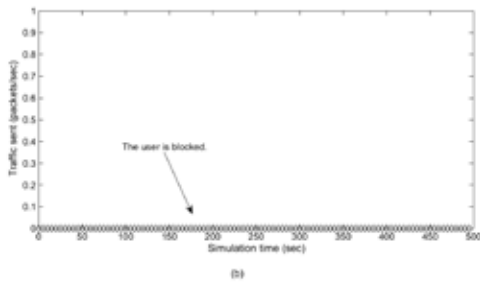
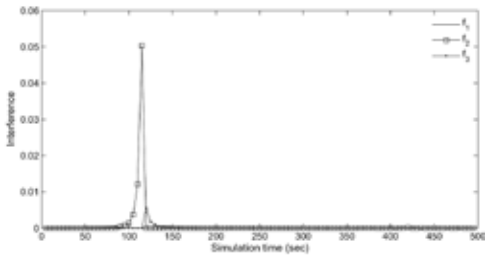
Tasarlanan modelde, İK düğümleri BK düğümlerinin varlıklarını belirli bir bulma ihtimali yüzdesi ile başarırlar. Diğer bir deyişle, İK düğümlerinin tahminleri bazen yanlış alarmlar içerebilir. İK düğümleri iletim yapılacak en uygun frekansı bulabilmek için periyodik olarak frekans bantlarını dinler. Algılama değerleri sonucunda toplanan veri ABİ üzerinden uyduda gönderilir ve uydu gelen bu bilgiler doğrultusunda bir sonraki zaman aralığı için o İK'nın aday operasyon frekanslarını belirler. Bu frekanslar o İK'da oluşturdukları girişim değerlerine göre iletim için uygun veya değil olarak belirlenir. Uydu hem kullanıcı profillerini, hem operasyon merkezinden yüklenen ulusal/uluslararası politikaları dikkate alarak İKlara frekans ataması yapar. Yine ABİ üzerinden İKlara iletim yapılacak yeni frekans bilgileri iletilir. Bu sistemde, yüksek öncelik, orta öncelik ve düşük öncelik değerlerine sahip üç tip kullanıcı değerlendirilmektedir. Uç değerleri görebilmek açısından düşük öncelik dediğimiz kullanıcı "bloklanmış" ya da yasaklı kullanıcıya karşılık gelmektedir ve bu kullanıcı uygun spektrum bandı olmasına rağmen iletim haklarından yararlanmayacaktır. Yüksek öncelik benzer şekilde 1'e eşitlenmiştir. Bu da bu tip bir kullanıcının her zaman boş frekans olması durumunda iletim yapabileceği anlamına gelmektedir. Benzetim senaryolarında spektrum dinleme periyodu 5 sn alınmıştır.

b. Benzetim Sonuçları

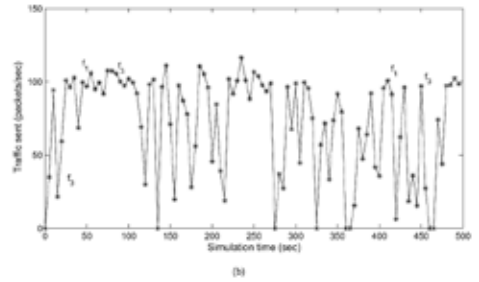
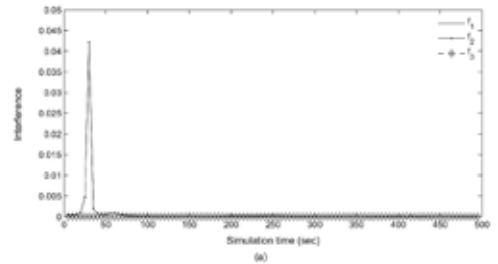
Benzetim senaryolarında her kullanıcının oluşturduğu trafik ve hissettiği girişim değerleri gösterilmiştir. Hissedilen girişim (P/d^2) şeklinde basit bir formül ile hesaplanmaktadır. Burada P ile gösterilen değişken yayıcı anten gücü iken d, yayıcı ve alıcı antenler arasındaki uzaklığı göstermektedir. Şekil 6, 7 ve 8'de oluşturulan trafik ve hissedilen girişim değerleri görülmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi LEO uydudan gelen bilgiler doğrultusunda kullanıcıların trafik gönderim başarımları

kullanıcı profillerine göre değişir. Örneğin, $\dot{I}K_0$ f_1 ve f_3 frekanslarında çok düşük girişim algılamasına rağmen yasaklı olması nedeni ile yayın yapamamaktadır. $\dot{I}K_0$ n aksine yüksek önceliğe sahip olan $\dot{I}K_2$, $\dot{I}K_0$ ile benzer değerler algılamasına rağmen yayın yapabilmektedir. Şekil 8’de orta öncelikteki bir kullanıcı olan $\dot{I}K_7$ ye ait veriler görülmektedir. Bazı anlarda iletim yapabileceği frekans bulamazken, bazı anlarda iletim yapabilen bu kullanıcının iletişimi kesintiye uğramakla birlikte iletimi sürdürülmektedir.

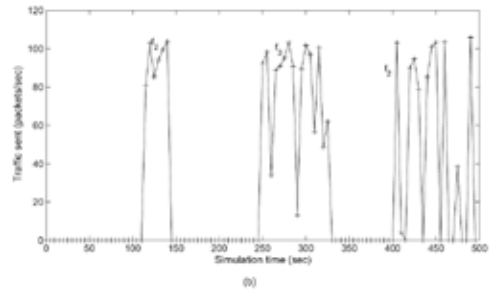
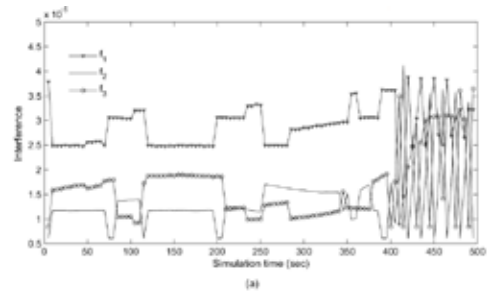
Bu çalışmada, $\dot{I}K$ düğümlerinin profilleri yer ve zamandan bağımsız olarak hep aynı değer olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, duruma, yere ve zamana göre önceliklerin atanması daha gerçekçi bir senaryodur.



Şekil 6. (a) Düşük öncelikli (sıfır) kullanıcı $\dot{I}K_0$ tarafından değişik frekanslarda algılanan girişim (b) $\dot{I}K_0$ tarafından yollanan trafik.



Şekil 7. (a) Yüksek öncelikli kullanıcı $\dot{I}K_2$ tarafından değişik frekanslarda algılanan girişim (b) $\dot{I}K_2$ tarafından yollanan trafik.



Şekil 8. (a) $\dot{I}K_7$ tarafından algılanan girişim değerleri (orta öncelikli kullanıcı) (b) $\dot{I}K_7$ tarafından üretilen trafik.

7. Sonuç ve Yapılacak Çalışmalar

Bu makalede, yeni nesil akıllı radyolar hakkında genel bilgiler sunulmuş ve uyduların bu sistemler ile bütünleştirilmesi incelenmiştir. Telsiz teknolojilerin ilerlemesi ve her zaman her yerden iletişimin sağlanabilmesi vizyonundan yola çıkılarak önerilen bu sistemler spektrumun dinamik bir şekilde kullanılması ile “sınırlı” olan spektrum probleminde bir çözüm getirmektedir. Fırsatçı kullanım kısa zamanda, kolay bir şekilde iletişim sağlanmasını gerçekleştirdiğinden özellikle acil durumlarda kamu güvenliğinin sağlanmasında önem taşımaktadır. Üzerinde çalışılması gereken pek çok açık konu olmakla birlikte bu makalede önerildiği gibi uyduların spektrumun daha etkin şekilde kullanılması için sistemle bütünleştirilmesi önem taşımaktadır. Benzetim çalışmalarında çok temel olarak kullanıcıların uydudan gelen emirler doğrultusunda iletimlerini inceledik. Ancak temel özellikleri verilen uydu yönetimsel mimaride TCP/IP katmanının her katmanında çalışılması gereken pek çok açık problem bulunmaktadır. Bu problemlerin başlıcaları, birincil kullanıcı tespiti, hareketlilik yönetimi, servis kalitesinin sağlanması ve yönlendirme protokolleri gelmektedir. İlerleyen dönemlerde, bu makalede tanıtılan uydu yönetimsel mimarinin yukarıda listelenen noktalar açısından da incelenmesi yapılacaktır.

Teşekkür: Bu çalışma, Devlet Planlama Teşkilatı - Yeni Nesil Uydu Ağları ve Uygulamaları Projesi, DPT-03 K120250, TÜBİTAK 104E032 tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] J. Mitola and G. Q. Maguire, “Cognitive Radio: Making software radios more personal,” IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, August 1999.

[2] IEEE1900.1, The Working group on terminology and concepts for next generation radio systems and spectrum management, <http://grouper.ieee.org/groups/emc/emc/1900/1/index.htm>.

[3] J. Steinheider, “Software-defined Radio Comes of Age,” Mobile Radio Technology, Feb. 2003. [Online]. Available: <http://www.vanu.com>.

[4] IEEE 802.22, The Working Group on Wireless Regional Area Networks(WRANs), www.ieee802.org/22/.

[5] A. Sahai, R. Tandra, S. Mishra, and N. Hoven, “Fundamental Desig tradeoffs in Cognitive Radio Systems,” in Proc. of First Int. Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum (TAPAS), Boston, MA, Aug. 2006.

[6] P. PawelczAKU, “Protocol requirements for Cognitive Radio Networks,” TU Delft, Technical Report v.0.2, June 2005.

[7] Eski 11 S. Krishnamurthy, M. Thoppian, S. Venkatesan, and R. Prueash, “Control channel based MAC-layer configuration, routing and situation awareness for cognitive radio networks,” in Proc. IEEE MILCOM, vol. 1, 17-20 Oct 2005, pp. 455– 460.

[8] DARPA XG Working Group, “The xG vision request for comments,” Tech. Rep. v. 2.0, January 2004.

[9] SCA Open source SCA implementation environment, <http://ossie.mprg.org>.

[10] J. Prat, V. D. Perini, R. Diaz, and J.-D. Gayraud, “SDR Technologies in Space Segment,” European Space Agency (ESA), Technical Report v.1.2, April 2006.

- [11] B. Paillassa and C. Morlet, “Flexible satellites: Software Radio in the sky,” in Proc. 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003), vol. 2, March 2003, pp. 1596–1600.
- [12] L. Pucker, “Applicability of the JTRS software communications architecture in advanced MILSATCOM terminals,” in Proc. MILCOM 2003, vol. 1, 2003, pp. 533–537.
- [13] OPNET Optimizing Network Technologies, OPNET Modeler 11.5, <http://www.opnet.com>.
- [14] C. Morlet, M.-L. Boucheret, and V. Calmettes, “Towards generic satellite payloads: software radio,” in Proc. International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS03), pp 186-192, France, Apr 2003.
- [15] Uzay Segmentinde Yazılım Radyosu Projesi, WAND, <http://telecom.esa.int/telecom/www/object/index.cfm?fobjectid=27724>