

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ



KAVRAMSAL AĞ TEMELLİ YEREL ALAN AĞI ALT YAPISI TASARIM
MODELİ

Ayşe KALE

ARALIK 2016

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Ayşe KALE tarafından KAVRAMSAL AĞ TEMELLİ YEREL ALAN AĞ ALT YAPISI TASARIM MODELİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylıyorum.

Yrd. Doç. Dr. Bülent Gürsel EMİROĞLU
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hasan ERBAY _____
Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdül Kadir GÖRÜR _____
Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Bülent Gürsel EMİROĞLU _____

16/12/2016

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Ailem, Eşim ve Oğluma

ÖZET

KAVRAMSAL AĞ TEMELLİ YEREL ALAN AĞ ALT YAPISI TASARIM MODELİ

KALE, Ayşe

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent Gürsel EMİROĞLU

Aralık 2016, 61 Sayfa

Kablosuz cihazlar spektrum bantlarını kullanarak bilgi alışverişi yaparlar. Spektrum, her ülkede hükümetin belirlediği kuruluşlar tarafından paylaştırılmaktadır. Bu durum, teknolojinin ilerlemesi ve kablosuz cihazların kullanım alanlarının hızla artması sonucunda spektrum kıtlığına neden olmaya başlamıştır. Kavramsal radyo teknolojisi, spektrumun dinamik olarak sezinlenmesi ile birincil kullanıcıların iletişimine engel olmadan boş frekans bantlarını algılayabilen ve ikincil kullanıcıların bu şekilde iletişimini sağlamayı amaçlayan bir teknolojidir.

Bu tez çalışmasında, kavramsal radyo teknolojisi ayrıntılarıyla incelenmiştir. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan birçok çalışma incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Kavramsal radyolarda dinamik spektrum yönetiminin en çok tartışılan ve araştırılan konularının başında spektrum sezme yöntemleri, spektrum paylaşma yöntemleri, bilişselliği sağlama yöntemleri ve spektrum el değiştirme yöntemleri gelmektedir. Bu tez çalışmasında, tüm bu yöntemler için, literatürde önerilen birçok yöntem ayrıntılarıyla anlatılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, lisanslı kullanıcıların kullanmadığı spektrum boşluklarından yararlanarak, ikincil kullanıcıların iletişim yapabildiği bir ağ tasarlanmıştır. Ağ simülasyonu gerçekleştirilirken, OMNET++ (Objective Modular Network Testbed in C++) simülasyon programından yararlanılmıştır. Program üzerinde 3 adet birincil kullanıcı ve 15 adet ikincil kullanıcıdan oluşan bir senaryo

geliştirilmiş ve senaryonun tasarımında farklı çalışmalardan yararlanılmıştır. Spektrum sezmede kullanılan akıllı algoritmalarından biri olan uyarlanabilir ayrık parçacık sürü optimizasyon algoritmasının kullanıldığı bir çalışma, OMNET++ üzerinde derlenip, kaynak olarak kullanılmıştır.

Bilgisayar ağlarında yönlendirme ve tıkanıklık denetimi ağın performansını da etkilemektedir. Paketlerin bekleme sürelerinin artması, paket kayıplarının yaşanması, ağın yavaşlaması, tıkanığının göstergesi olabilir. Bu durum ağa fazladan yük yüklenmesi demektir. Bu sorun için yönlendirme algoritmalarının ağa uygun olması gerekir. Tasarlanan ağda, yönlendirme protokolü olarak, kavramsal ağlar için geliştirilmiş olan CAODV (Cognitive Ad-Hoc On Demand Distance Vector) protokolü kullanılmıştır. Bu protokolün çalışma prensipleri de tez kapsamında açıklanmıştır.

Geliştirilen kavramsal radyo ağ tasarımında, birincil kullanıcılar sabit pozisyonda, ikincil kullanıcılar ise hareketli durumdadır. Her bir düğümün iletim aralığı 120 metre ile sınırlıdır ve IEEE 802.11b standardı, standart olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ağın performansı ile ilgili bazı sonuç grafikleri elde edilmiştir. Bu sonuç grafikleri, paket dağıtım oranı, verim, uçtan uca gecikme, hop sayısı ve işletim yükü grafikleri olarak verilmiş ve açıklanmıştır.

Sonuç olarak, ayrıntılı olarak araştırılan ve tez kapsamında açıklanan kavramsal radyo teknolojisi, bir simülasyon üzerinde uygulanarak çalıştırılması sağlanmış ve etkinliği sonuçlar ile birlikte sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Bilişsel (Kavramsal) Radyo, Dinamik Spektrum Sezme

ABSTRACT

COGNITIVE NETWORK BASED LOCAL AREA NETWORK INFRASTRUCTURE DESIGN MODEL

KALE, Ayşe


Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bülent Gürsel EMİROĞLU

December 2016, 61 Pages



The wireless devices communicate with each other using spectrum bands. The spectrum is shared by the governments of each country. The progress of the technology and the rapid increase in the usage areas of wireless devices have begun to cause spectrum scarcity. Cognitive radio technology, with the dynamic sensing of the spectrum, is a technology which is able to detect free frequency bands without interfering to the communication of primary users and aims to provide communication for secondary users in this way.

In this thesis study, cognitive radio technology was studied in detail. Many studies in the literature about this subject have been reviewed and classified. At the beginning of the most discussed and researched topics of dynamic spectrum management in cognitive radios are spectrum sensing methods, spectrum sharing methods, cognition providing methods and spectrum hand off methods. In this thesis study, many methods about all these topics are suggested in the literature are explained in detail.

Within the scope of this thesis, a network designed. In this network, secondary users can communicate benefiting from the spectrum gaps that the licensed users do not use. OMNET++ simulation program is used for network simulation. In the program,

a scenario was developed which contain 3 primary users and 15 secondary users and different works were used in the design of the scenarios.

A study which use adaptive discrete particle swarm optimization algorithm, one of the intelligent algorithms, used for spectral censoring, was compiled on OMNET ++ and used as a source.

Routing and congestion control in computer networks also affects network performance. Increased waiting times for packets, packet losses, slow network may be a sign of deadlock. This means extra load on the network. For this problem, the routing algorithms must be suitable for network. In the designed network, CAODV protocol which developed for cognitive networks is used as the routing protocol. The working principles of this protocol are also explained in the thesis.

In the cognitive radio network design, the primary users are in fixed position and the secondary users are random way point and mobile. The transmission range of each node is limited to 120 meters and the IEEE 802.11b standard is specified as the standard. As a result of the study, some result graphs related to network performance were obtained. These result graphs are given and explained as packet delivery ratio, throughput, end-to-end delay, hop count, and overhead.

As a result, the cognitive radio technology which has been investigated in detail and explained in the thesis has been applied on a simulation and provided with its operation results.

Key words: Cognitive Radio, Dynamic Spectrum Detection

TEŐEKKÖR

Tez alıőmam boyunca, her zaman yapıcı olan önerileriyle bana verdiği destek ve anlayıőı için tez danıőmanım Sayın Yrd. Do. Dr. Bőlent Gőrsel Emiroğlu'na, hayatımın her aşamasında bana destek olan ve inanan, beni yaptığım her iőte yőreklendiren aileme, tez çalıőmam sőresince gőstermiő olduğu destek ve anlayıőı için değerli eşim Ali Kale'ye sonsuz teőekkőrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Elektromanyetik Spektrum	2
1.1.1. Radyo Frekans Spektrumu	2
2. KAVRAMSAL RADYO	5
2.1. Kavramsal Radyonun Yararları	6
2.2. Kavramsal Radyonun Temel Kavramları	7
2.3.Kavramsal Radyo Mimarisi	9
3. KAVRAMSAL RADYO SİSTEMLERİ	11
3.1.Tarihsel Süreç	11
3.2. Mitola Radyo	11
3.3. Kavramsal Radyo Sistemleri Gerçekleştirilirken Karşılaşılan Problemler	12
3.3.1.Girişim (Interference) problemi.....	12
3.3.2. Donanımsal problemler.....	13
3.3.3. Kontrol Zorluğu	14
3.4.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Bilişselliği Sağlama Yöntemleri	14

3.5.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Spektrum Sezme Yöntemleri	16
3.5.1. Verici Sezme Yöntemi ile Spektrum Sezme.....	17
3.5.1.1.Çevrimsel Durağan Özellik Sezme	18
3.5.1.2.Enerji Algılama Tabanlı Sezme	18
3.5.1.3.Uyumlu Süzgeç Yöntemi ile Spektrum Sezme.....	18
3.5.2. İşbirlikçi Tabanlı Spektrum Sezme.....	19
3.5.3.Girişim Tabanlı Spektrum Sezme.....	19
3.6.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Spektrum Paylaşma Yöntemleri.....	19
3.6.1.Mimarisine Göre Spektrum Paylaşma	20
3.6.1.1.Merkezi Kavramsal Ağ	20
3.6.1.2.Dağıtık Kavramsal Ağ.....	20
3.6.2.Erişim Davranışına Göre Spektrum Paylaşma.....	20
3.6.2.1.İşbirlikçi Spektrum Paylaşma	21
3.6.2.2.İşbirlikçi Olmayan Spektrum Paylaşma.....	21
3.6.3.Erişim Teknolojisine Göre Spektrum Paylaşma.....	21
3.6.3.1.Boşluk kovalama(Interweave)	21
3.6.3.2.Altına Yayma(Underlay).....	22
3.6.3.3.Üzerine Bindirme(Overlay)	22
3.7.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Spektrum El Değiştirme Yöntemleri....	24
4. GELİŞTİRİLEN TASARIM MODELİ VE KULLANILAN YÖNTEMLER	26
4.1.Alt yapı	26
4.2.Algoritma	31
5. KAVRAMSAL RADYO SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE TEST	
EDİLMESİ.....	36
5.1. Simülasyon Üzerinde Kavramsal Radyo Ağı Tasarımı	37
5.2. Simülasyon Sonuçları.....	45
5.2.1.Uçtan Uca Gecikme (End-to-End Delay)	45
5.2.2.Paket Dağıtım Oranı (Packet Delivery Ratio-PDR)	47
5.2.3.Hop Sayısı(Hop Count)	48
5.2.4.İşletim Yüğü (Ek yük-Overhead)	49
5.2.5.Verim (Throughput).....	50

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Radyo frekans Spektrumu Frekans Bantları	4
3.1. Yazılım Tanımlı ve Kavramsal Radyo Özellikleri.....	12



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Elektromanyetik Spektrum ve Radyo Frekans Spektrumu	3
2.1. Spektral Boşluk Kavramı	5
2.2. Bilişsel Döngü	8
2.3. Kavramsal Ağda Merkezi Düğüm	10
3.1. Gizli Düğüm Problemi	13
3.2. Kavramsal Ağ İletişim Fonksiyonları	17
3.3. Spektrum Paylaşma Teknikleri	23
4.1. Temel Kavramsal Ağ Düğümü Mimarisi.....	27
4.2. Kavramsal Radyo Mimarisi Bileşenleri	28
4.3. DRM Mimarisi	30
5.1. Tasarlanan Kavramsal Ağ	38
5.2. CU Düğüm Altyapısı ve CAODV Protokolü ile Uygulanışı	42
5.3. RREQ Paketi Akış Diyagramı	43
5.4. RREP Paketi Akış Diyagramı	44
5.5. Uçtan Uca Gecikme Grafiği	46
5.6. PDR Grafiği	47
5.7. Hop Sayısı Grafiği	48
5.8. İşletim Yüğü Grafiği	50
5.9. Verim (Throughput) Grafiği	50

KISALTMALAR DİZİNİ

ADPSO	Adaptive Discrete Particle Swarm Algorithm
BR	Bilişsel Radyo
CAODV	Cognitive Ad-Hoc On Demand Distance Vector
CR	Cognitive Radio
CRM	Cognitive Resource Manager
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CU	Cognitive User
DRM	Distributed Resource Map
FCC	Federal Communications Commission
GPS	Global Positioning System
MAC	Medium Access Control
M2M	Machine to Machine
OMNET++	Objective Modular Network Testbed in C++
PDR	Packet Delivery Ratio
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması
PU	Primary User
QoS	Quality of Service
RERR	Route Error
RF	Radyo Frekans
RREP	Route Reply
RREQ	Route Request
SCL	Signalling and Communication Link
SDR	Software Defined Radio
SNR	Signal to Noise Ratio
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
WSGA	Wireless System Genetic Algorithm

SİMGELER DİZİNİ

c_1, c_2	Öğrenme sabiti
V_{\max}	Bir parçacığın maksimum hızı
i	S sürüsündeki her bir parçacık
n	S sürüsünün boyutu
B	İkili formatta parçacığı temsil eden bit sayısı
w	Momentum katsayısı



1.GİRİŞ

Kablosuz ağ iletifimde cihazlar, iletifim sağlayabilmek için radyo spektrum bantlarını kullanırlar. Bu radyo spektrum bantları, her ülkede belirli kuruluşlar tarafından operatörlere lisanslanmaktadır. Bu lisanslama işlemi sabit spektrum atama politikasına göre yapılmaktadır [1]. Bu politika sebebiyle spektrum bantlarında kullanılmayan boşluklar oluşmaktadır.

Önceleri spektrum kanalları yeterli gelirken zaman içinde artan mobil iletifim teknolojileri nedeniyle, bir spektrum kıtlığı oluşmaya başlamıştır. Çünkü sabit atama ilkesi ile atama yapılmış spektrumlar, operatörler tarafından tam kapasite ile kullanılmamaktadır. Ancak %15 ila %85 arasındaki oranlarda fayda sağlanmaktadır[2]. Bu demektir ki, paylaştırılan spektrumun önemli bir kısmı işlevsiz kalmaktadır.

Çağımızda makineleşmenin inanılmaz bir hızda artmaya devam etmesi ile artık iletifimin yalnızca insan kullanımındaki makinelerce yapılmadığı görülmektedir ve teknoloji hızla makinelerin birbiri ile haberleştiği, “machine to machine (M2M) ” iletifime geçmektedir. Her yeni sistem de, spektrumun sınırlı bir kıt kaynak olması sebebiyle, artan bir spektrum ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Bu ihtiyaç ise yeni arayışlar sonucu yeni önerilerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu önerilerden biri de, spektrumun dinamik olarak sezinlenmesi ile anlık olarak boşlukları yakalayabilen, lisanslı kullanıcıların iletifimine engel olmadan kullanılmayan frekans bantlarını algılayabilen ve ikincil kullanıcıların bu şekilde iletifimini sağlamayı amaçlayan, Bilişsel Radyo (BR) kavramıdır. Bu teknoloji tıkanıklığa karşı mit vadeden bir sistem olarak, ilk olarak 1998 yılında Joseph Mitola III tarafından, Stokholm’deki Royal Teknoloji Enstitüsündeki bir seminerde bahsedilmiş ve ilk yayın 1999 yılında Gerald Q. Maguire ile birlikte yürüttükleri çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır.

BR teknolojisi yazılım tanımlı radyo (software defined radio) teknolojisi ile yapay zeka tekniklerinin karması bir yapıdadır denilebilir. Bu sayede uygun radyo ortamına

birçok parametre gözetilerek karar verilmesi mümkün olmaktadır. BR teknolojisinin esnekliği ve kullanım kolaylığı, ileride spektrum yönetiminde çok büyük önem arz edecektir.

BR teknolojisinin verimli bir biçimde kullanılmaya başlaması, 20 yıl kadar zaman alacak olsa da bu teknolojiyi baz alan bazı kullanım çalışmaları da yapılmaktadır. Buna örnek olarak UHF/VHF bantlarında, sayısal TV beyaz boşluklarının lisanssız olarak değerlendirilmesi verilebilir.

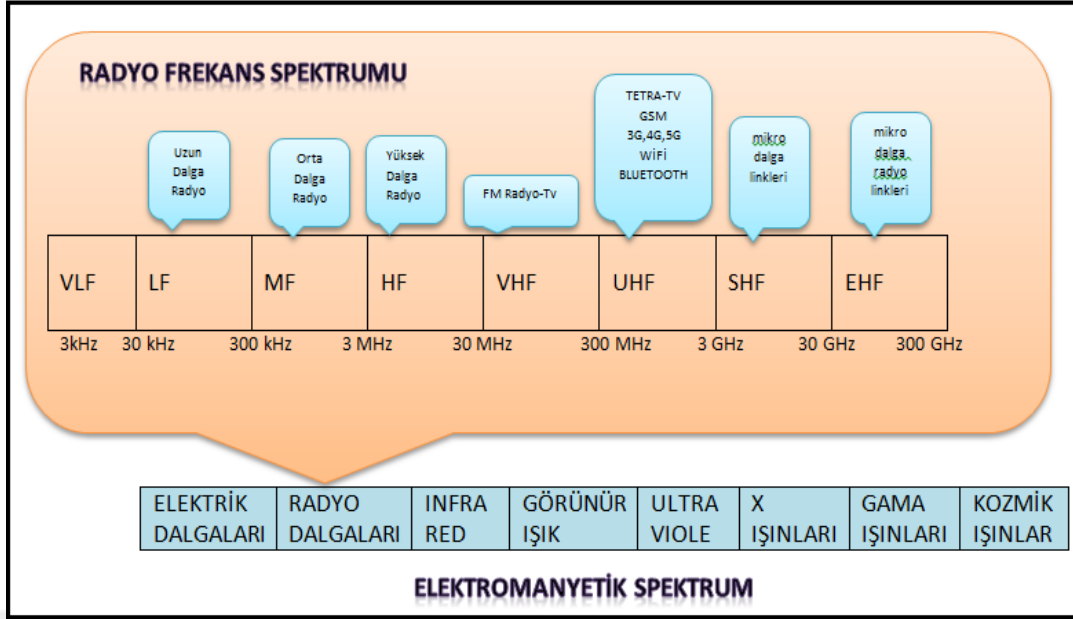
BR teknolojisinde anlaşılması gereken 2 ana unsur vardır. Bunlar birincil ya da lisanslı kullanıcılar (primary user-PU) ve ikincil ya da lisanssız kullanıcılar (secondary user, cognitive radio-CU) olarak adlandırılır. Birincil kullanıcı lisanslı operatörler üzerinden iletişim kurabilen kullanıcılardır. İkincil kullanıcılar ise birincil kullanıcıların kullandığı kanallardaki kullanılmayan spektrum boşluklarını, çeşitli yapay zeka algoritmaları ile tespit edip, birincil kullanıcıları rahatsız etmeden kullanan, bu boşlukların birincil kullanıcılar tarafından kullanılmak istemesi ile dinamik olarak boşluğu terk eden ve yeni boşluk bulan kullanıcılardır.

1.1. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum, tüm elektromanyetik dalgaları (gama ışınları, x ışınları, mor ötesi yayılım, görülebilir ışık, kızılötesi yayılım ve radyo dalgaları vb.) içeren dizilimdir.

1.1.1. Radyo Frekans Spektrumu

Elektromanyetik spektrumun bir parçası olan radyo frekans spektrumu, haberleşme sistemlerinin temelidir. Radyo frekans spektrumu ulusal bir kaynaktır ve bu anlamda kullanımı, devlet tarafından kontrol edilen bir hazine malıdır. Radyo frekans spektrumu önceleri tükenmeyen ve yenilenen bir kaynakken günümüzde kıt kaynak durumuna düşmüştür. Bunun nedeni, spektrumun tamamının etkin bir şekilde kullanılmamasıdır.



Şekil 1.1. Elektromanyetik Spektrum ve Radyo Frekans Spektrumu

Şekil 1.1.' de görüldüğü üzere radyo frekans spektrumu elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır ve 3kHz ile 300 Ghz aralığını kapsamaktadır.

Radyo frekans spektrumu 9 bölüme ayrılmaktadır. Çizelge 1.1.' de bu bölümler gösterilmektedir. Her bir aralık farklı hizmetlerde kullanılabilir. UHF bandı haberleşme teknolojisinde talebin çok olduğu hizmetlere kaynak sağlamaktadır. Bu sebeple bu aralıkta bir yoğunlaşmaya sebep olmaktadır. Artan talep ile giderek değerlendirilen spektrumun verimli kullanılmasına ilişkin önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Çizelge 1.1. Radyo Frekans Spektrumu Frekans Bantları

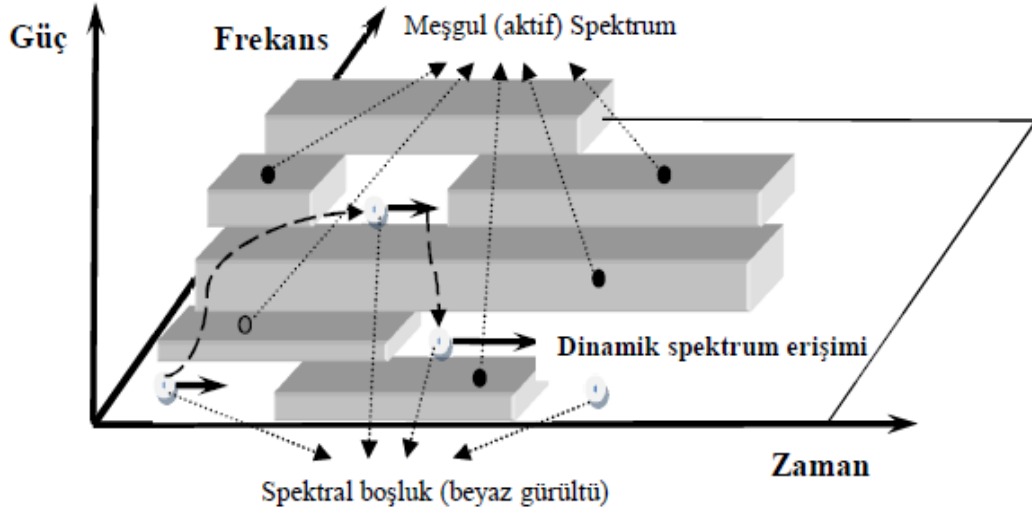
<i>FREKANS BANDI</i>	<i>KULLANIM</i>	<i>BANT GENİŞLİĞİ</i>
VLF(3-30 kHz)	Uzun mesafe radyo seyrüsefer Denizaltı haberleşmesi	Çok dar
LF(30-300 kHz)	Uzun mesafe radyo seyrüsefer	Çok dar
MF(300-3000 kHz)	Orta ve Uzun mesafe radyo seyrüsefer	Orta
HF(3-30 MHz)	Yayınçılık ve Noktadan Noktaya Haberleşme	Geniş
VHF(30-300 MHz)	Ses Görüntü Yayınçılık, Kısa mesafe mobil dar bant haberleşme, WAN	Çok Geniş
UHF(300-3000 MHz)	Kısa Mesafe Mobil haberleşme, Yayınçılık, kişisel haberleşme, Uydu haberleşmesi, WAN	Çok Geniş
SHF(3-30 GHz)	Geniş bant Karasal Linkler, Yayınçılık kişisel haberleşme, Uydu haberleşmesi, WAN	Çok Geniş
EHF(30-300 GHz)	Geniş bant Karasal Linkler, Noktadan Noktaya haberleşme, Kişisel haberleşme Uydu haberleşmesi	Çok Geniş

2. KAVRAMSAL RADYO

Kavramsal radyo, kendi elektromanyetik çevresini sezerek, boşlukları saptayabilen ve bu boşluklar üzerinden kendi radyo parametrelerini ayarlayarak iletişim yapabilen bir sistem olarak tanımlanır. Mevcut spektrumdaki yetersizlik sebebiyle ortaya atılan bu teknoloji, spektrumun sürekli olarak sezinlenerek boş veya az yoğun kanalların belirlenerek ikincil kullanıcılar tarafından kullanılmasına izin vermektedir.

Sabit spektrum atama politikasına göre, farklı kullanıcılara farklı alt kanalların paylaşılıyor olması spektrumun etkin kullanılması açısından verimli değildir. Yapılan araştırmalarda bu kanalların, bazı zaman dilimlerinde önemli ölçüde boş kaldığını ya da kısmi olarak kullanıldığını göstermektedir.

Şekil 2.1.'de spektral boşlukların bilişsel kullanıcı tarafından fırsatçı olarak kullanımı görülmektedir[3]. İkincil kullanıcı, birincil kullanıcı kullanmak istediği anda o boşluğu terk ederek yeni boşluk bulmakta ve orada iletişime devam etmektedir.



Şekil 2.1. Spektral Boşluk Kavramı

En hızlı şekilde en iyi boşluğa atamayı yapabilmesi için birçok yöntem araştırılmaktadır. Burada esas olan ikincil kullanıcıların kanal seçmesini sağlayan yazılımın iyi seçilmiş olmasıdır. Ancak parametrelerin çeşitliliği bu algoritmaların seçimini zorlaştırmaktadır. Örneğin, bazı algoritmalar enerji verimliliğinde daha etkin rol oynarken, bazı algoritmalar seçim yapmada daha hızlı olabilir. Bütün bu parametreler için optimum çalışabilecek bir sistem tasarlanabilmesi için çalışmalar sürmektedir.

BR, yazılım tanımlı radyo ile yapay zekâ tekniklerinin birlikte kullanılarak dinamik spektrum seçmeyi mümkün kılan, yazılım ağırlıklı bir yapıdadır. Sayısal radyolarda donanım ağırlıktır. Modülasyon ve kodlama donanım birimlerinde; kuantalama/çerçeveleme ve işleme yazılım birimlerinde yapılmaktaydı. Sonraları bu sistem yazılım tanımlı radyo olarak yeniden tasarlandı. Yazılım tanımlı radyolarda ise yazılım biriminin iş yükü artırılarak, modülasyon ve kodlama da yazılım birimince gerçekleştirilmeye başladı. Günümüzde ise spektrum kıtlığı nedeni ile yazılım tanımlı radyoların yazılım birimine algılama, öğrenme ve optimizasyon yapay zeka tekniklerinin getirilmesi ile bilişsel radyo tasarlanmış oldu.

2.1. Kavramsal Radyonun Yararları

Kavramsal radyonun faydaları bir hayli fazladır. Bunların başında spektrum verimliliği ve teknik alanlarda çeşitlilik gelmektedir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, frekans verimliliği zaten kavramsal radyonun ortaya atılma sebeplerinden biri olmuştur. Buna ek olarak ise kodlama alanında, frekans, enerji gibi alanlarda çeşitliliği arttırmış olması da teknik yararlarına örnek olarak gösterilebilir.

Kavramsal radyo ticari anlamda da birçok fayda getirebilecek boyuttadır. Kavramsal radyo teknolojisine geçilmesi ile birlikte sunulması gereken yüksek hızda kablosuz geniş bant teknolojisi sektörü ticari anlamda da canlandırarak ve rekabet ortamını arttıracaktır. İlave uygulamaların da geliştirilmesi bu rekabet ortamını iyiden iyiye canlandıracaktır.

Kavramsal radyonun kullanıcı boyutunda getireceği yararlar da değinecek olursak, bunların başında tek kanala bağlılığın ortadan kalkması ile ilişkili olarak, iletim süresi ve veri hızının artması ile daha sağlıklı iletişim ortamlarının sağlanabileceği gelmektedir. Kavramsal radyonun sürekli olarak ortam parametrelerini optimize etme yeteneği, kullanıcı için en uygun yolun bulunması anlamına gelmektedir. Bu da kullanıcılar için can alıcı bir nokta olan hızı ön plana çıkarmaktadır.

Lisans sahiplerinin kullanmadığı spektrum kanallarının kullanılmasına fırsat sağlayan kavramsal radyo teknolojisi, lisans sahiplerine de birçok avantaj sağlayabilecektir. Örneğin, lisanslı kullanıcılar spektrum haklarının bazı kısımlarını üçüncü kişilere kiraya verebilecekler ve bu sayede lisans giderlerinin bir kısmını karşılama olanağı yakalamış olacaklardır.

2.2. Kavramsal Radyonun Temel Kavramları

Kavramsal radyolar bazı özel yeteneklere sahip olmak zorunda olan sistemlerdir. Bu yetenekleri kavramsal yetenek ve yeniden ayarlanabilirlik yeteneği biçiminde tanımlamak mümkündür.

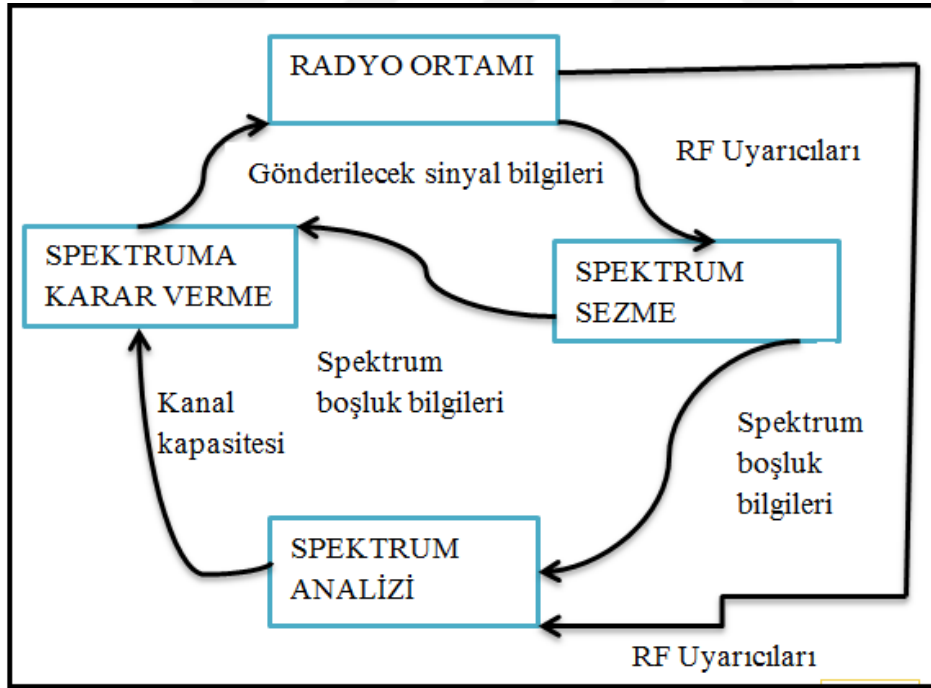
Kavramsal radyolar ortamı sürekli olarak dinleme ve çıkarım yapma yeteneğine sahip olmak zorundadırlar. Bunu yaparken ortamdaki sinyallerin derecelerini belirleyip onların durumları üzerinden çıkarım yapabilmeli ve birincil kullanıcıları rahatsız etmeden takip edebilmelidirler. Bilişsel radyoların kavramsal yeteneği, kavramsal radyo döngüsü ile özdeşleştirilmektedir.

Kavramsal radyo döngüsünün temelinde 4 kavram yatmaktadır. Bunlar;

- Spektrumu algılama,
- Spektruma karar verme ve analiz etme
- Spektrum hareketliliği
- Spektrum paylaşma olarak genellenebilir.

Kavramsal radyo kullanıcısının kendisine uygun olan spektrumu bulması ve iletişime başlaması için öncelikle ortamdaki boş spektrum kanallarını algılaması gerekmektedir. Bu aşamada çeşitli spektrum sezme algoritmaları kullanılmaktadır. Daha sonraki aşamada ise boş olarak bulduğu kanalları değerlendirip, optimize ederek en uygun olanına karar verir. Burada önemli olan nokta spektrum boşluklarının ne kadar süre kullanımda olabileceğini de sezinleyebilmesidir.

En uygun olan kanal bulunup iletişime başladıktan sonra da ortamın dinlenmeye devam etmesi gerekmektedir. Bunun sebebi ise, ortamda herhangi bir lisanslı kullanıcı sezinlenmesi durumunda ortamın derhal terk edilmesi ve böylece lisanslı kullanıcının yeniden kullanımına geçirilmesi gerekmektedir. Bu esnada bilişsel radyo kullanıcısı da yeniden spektrum sezme çalışmalarına devam etmektedir. Bu durum spektrum hareketliliği olarak isimlendirilir. Şekil 2.2.'de [2], bu işlemler bir döngü olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Bilişsel Döngü

Şekil 2.2.' de görüldüğü üzere, tüm bu olaylar bir döngü içinde gerçekleştirilmektedir. Öncelikle radyo ortamı sezilmekte, boşluklar analiz edilerek,

spektrum karar verme aşamasına gönderilmektedir. Öncelikle birincil kullanıcıların sinyallerinin çok zayıf olduğu anlar bulunmalıdır[4]. Burada kullanıcı ihtiyaçları ve gelen parametreler de göz önüne alınarak en uygun spektruma karar verilir [5].

Kavramsal radyo kullanıcıları bazen aynı ortama erişmeye çalışıyor olabilirler veya bu ortamlar tamamen aynı olmasa bile kısmen örtüşüyor da olabilir. Bu gibi durumlarda bir spektrum paylaşma metodu gerekmektedir ve böylelikle tıpkı mevcut sistemlerde MAC' in yaptığı görevi yapabilecek bir paylaşım metodu çağırılması beklenir.

2.3.Kavramsal Radyo Mimarisi

Kavramsal radyo mimarisinde temel bileşenler, alıcı-verici, spektrum çözümleyici, öğrenme, karar verme olarak özetlenir [6].

Alıcı-verici burada temel bileşenleridir. Bu parametrelerin dinamik olarak sürekli değiştiği sistemde fiziksel katmanda bulunmakta olan radyo ön ucu yazılım tanımlı radyo temeline dayanır. Ayrıca diğer katmanlardaki protokoller de ortamın farkındadırlar.

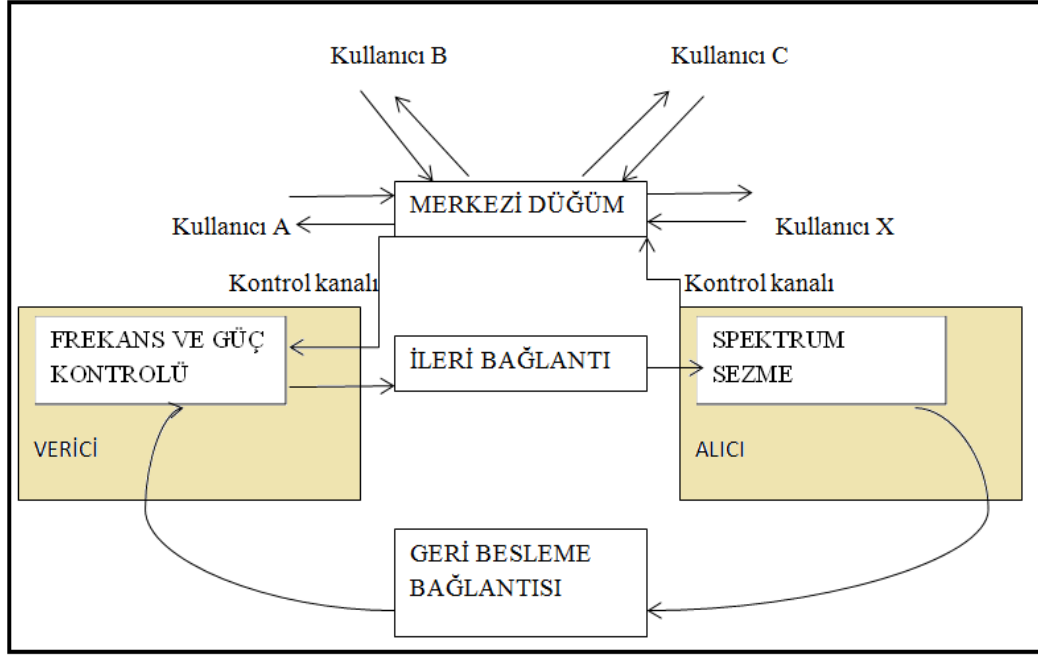
Spektrum çözümleyici, spektrum kullanımını analiz etmeye yarayan işaretleri çözümlemektedir. Bu işaretlerde çeşitli işaret işleme teknikleri kullanılarak birincil kullanıcılara girişim yapmadan çözümleme yapılmaktadır.

Öğrenme, ortamın algılanması ve çeşitli yapay zekâ yöntemleri kayıt altına alınmasıdır.

Karar verme ise kayda alınan ve öğrenilen spektrum bilgilerinin optimizasyon yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi ve karara bağlanmasıdır.

Kavramsal ağda, alıcı spektrum sezme işlemi yapılmaktadır. Verici ise spektrum sezme verilerini alarak frekans ve güç kontrolü yapar.

Tüm bu sezme bilgilerini toplamak için bir merkezi düğüm kullanılabilir[7]. Şekil 2.3 bu merkezi düğümün ait çevrimi göstermektedir.



Şekil 2.3. Kavramsal Ağda Merkezi Düğüm

3. KAVRAMSAL RADYO SİSTEMLERİ

3.1.Tarihsel Süreç

1992 yılında ABD savunma bakanlığı yazılım tanımlı radyoların kullanılabilir olduğunu onaylamıştır. Yazılım tanımlı radyo teknolojisinde hızla devam eden gelişmeler ile programlanabilir modüller hızla geliştirilmeye başlanmıştır. Bu amaçla, yazılım tanımlı radyoların üstünlüğünü göstermek amacıyla, SDR forum endüstri grubu kurulmuştur. Joseph Mitola ve Wayne Bonser endüstrinin çalışmalarına yoğunlaşmışlar ve gerekli standartları oluşturmaya başlamışlardır. Bu sırada Joseph Mitola, Stockholm üniversitesinde doktora yapmaktadır ve çalışmalarında sık sık radyonun spektrum çevresindeki farkındalığa sahip olmasının mümkün olduğuna değinmektedir. 1999 yılında yayımladığı çalışması ile kavramsal radyonun iletişime esneklik kazandırması ile ilgili bir gösterim dili önermiştir [8]. Bir yıl sonra doktora tezinde kavramsal radyo teknolojisini açıklamıştır[9].

3.2. Mitola Radyo

Kavramsal radyo, yazılım tanımlı radyo teknolojisi ile akıllı işaret işleme tekniklerinin birleşimidir. Kavramsal radyonun gerçekleştirilmesi için esneklik ve akıllılık gerekmektedir. Esneklik yazılım tanımlı radyo tarafından gerçekleştirilmekte olup, akıllı olması işaret işleme teknikleri ile sağlanmaktadır. Yazılım tanımlı radyo ile kavramsal radyo özelliklerini çizelge 3.1.' deki gibi gösterebiliriz.

Mitola ve Maguire kavramsal radyoyu, “gözleme, yönelme, planlama, öğrenme, karar verme, hareket etme” yeteneklerine sahip sistem şeklinde tanımlamışlardır [8].

Kavramsal radyo teknolojisi ile iletişim yapılırken, birincil kullanıcıların hiçbir girişime maruz bırakılmaması gerekir [10]. Bunun için ikincil kullanıcı iletişim yaparken birincil kullanıcı ortamda algılandığı zaman derhal spektrumunu terk etmesi gerekir. Kavramsal radyo kullanıcısının mevcut spektrumunu terk ederek başka bir

boşlukta iletişimine devam etmesine spektrum el değiştirme denir[11]. Spektrum el değiştirme işlemi yapabilmek için yapay zekâ teknikleri ile makine öğrenmesi teknikleri [12] sık kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Yazılım Tanımlı ve Kavramsal Radyo Özellikleri

Yazılım Tanımlı Radyo	Kavramsal Radyo
-Düşük donanımsal maliyet -Esnek olma -Küçük Hacim -İletimde Çeşitlilik -Parametre Değişimi	-Algılayabilir olma -Akıllı olma -Farkında olma -Öğrenme -Sonuç çıkarma -Değerlendirme -Uyum Sağlama -Güvenilirlik -Verimlilik -Yeniden ayarlanabilir olma

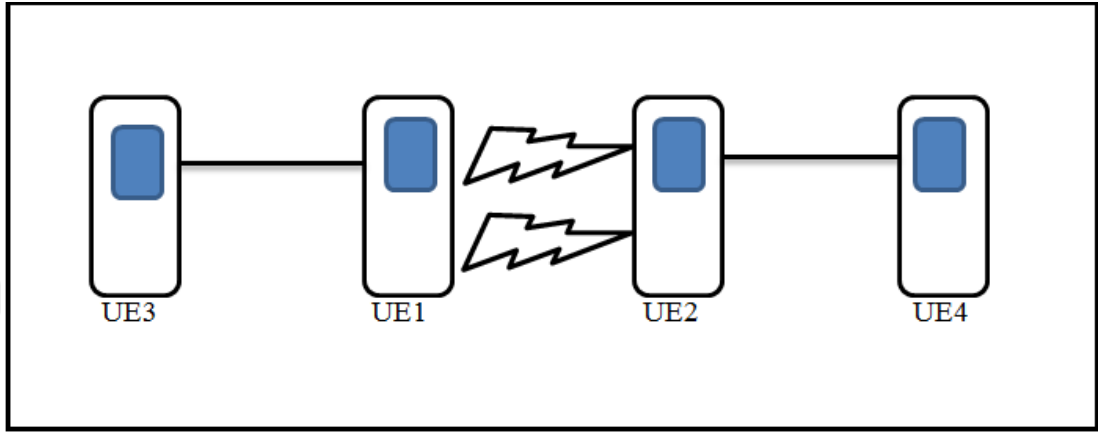
3.3. Kavramsal Radyo Sistemleri Gerçekleştirilirken Karşılaşılan Problemler

Kavramsal radyo teknolojisinin çok yeni olması ve üzerinde çalışmaların devam ediyor olması, kavramsal radyo teknolojisi gerçekleştirilirken karşılaşılan problemler için ümit vaat edicidir. Bu problemler üç başlık altında incelenebilir. Bunlar, girişim, donanım ve kontrol problemleridir.

3.3.1. Girişim (Interference) problemi

İdeal bir kavramsal radyo sisteminde haberleşme yapılırken ikincil kullanıcı olarak adlandırılan bilişsel radyo kullanıcısının, spektrum sezerken, spektrum atarken veya iletişim yaparken, lisanslı yani birincil kullanıcı üzerinde herhangi bir girişim

yapmaması gerekmektedir. Ancak pratikte bu durumla ilgili sorunlarla karşılaşılabilir. Bu sorun üzerinde detaylı olarak çalışılması gerekli olan bir problemdir. Esasen bu problemin ortaya çıkmasının sebebi bilişsel radyo sistemlerinin, diğer sistemleri tam olarak algılayamamasıdır. Buna gizli düğüm problemi de denilebilmektedir.



Şekil 3.1. Gizli Düğüm Problemi

Şekil 3.1.' de, bir gizli düğüm problemi örneği görülmektedir[13]. Burada UE1 ve UE2 arasındaki yayın, mesafeden dolayı sinyalin düşük olması sebebi ile UE3 ve UE4 tarafından tespit edilemez ve spektrumun boş olduğunu düşünüp yayın yapmaya başlarlar. Bu durum ise girişime neden olur[13]. Gizli düğüm probleminin azaltılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

3.3.2. Donanımsal problemler

Kavramsal ağ ile sağlıklı iletişim yapabilmek için hız en önemli faktördür. İşlemlerin çok büyük bir hızda yapılması, kanalların çok hızlı sezilmesi, çok hızlı kanal değiştirme yapılabilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Bütün bunlar için yüksek hızlı işaret işleme yapabilen dönüştürücülere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca işlemlerin bu kadar hızlı yapılabilmesi için geniş frekans bantlarının yakalanması

gerekmektedir. Daha geniş bantlarda yapılması gereken işlemler için anten, güç kuvvetlendirici gibi ek donanımlara gerek duyulmaktadır[14].

3.3.3. Kontrol Zorluğu

Bilişsel radyo teknolojisi, hızın çok önemli olması, buna karşın, mekânın her koşulda aynı olmaması göz önünde alındığında kontrol edilmesi çok güç bir teknolojidir. Yapılan çalışmalar küçük ağlarda başarılı sonuçlar veriyor olsa da büyük ağların bu teknolojiye geçmesi durumunda kontrol edilebilmesi için fazladan yükler altına girilmesi gerekecektir. Ağların daha karmaşık yapıda olacak olması algoritmaların da karmaşıklığını artıracaktır.

Bütün bu problemler için akademik çevrede çok fazla çalışma yapılmakta ve çok fazla fikir ortaya atılmaktadır. Hızla gelişmekte olan teknoloji sayesinde tam anlamıyla uygulamaya geçilmeden bu sorunlara çözümler bulunacağı umulmaktadır.

3.4.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Bilişselliği Sağlama Yöntemleri

Zekâ; insanın düşünme algılama çıkarım yapma gibi yeteneklere sahip olmasını sağlayan bir kavramdır. İnsanın bu özelliği bilim insanlarının hep üzerinde araştırma yaptıkları bir kavram olmuş ve gelişen teknoloji ile bu özelliği farklı alanlara uygulanabilir kılmaya çalışmışlardır. Bu amaçla yapay zekâ kavramı ortaya çıkmış ve zekâyı organik olmayan sistemler üzerinde uyarlama fırsatı bulunmuştur.

Geliştirilen yapay zekâ teknikleri çok çeşitlidir. Kavramsal ağlar, önceki bölümlerde de değinildiği üzere yazılım tanımlı radyo teknolojisi ile yapay zekâ tekniklerinin birlikte kullanılması esasına dayanmaktadır. Bu sebeple bilişselliği sağlayabilmek için literatürde birçok yapay zekâ tekniğinin kavramsal radyolar üzerinde uygulandığı görülmektedir. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, benzetim tavlama, parçacık sürü, tabu arama algoritmaları, karınca kolonisi

algoritması, yapay arı algoritması, hibrit algoritmalar bunlardan en çok çalışılan algoritmalarıdır.

Yapay zekâ yöntemlerinden yapay sinir ağı algoritması ile literatürde çok fazla çalışma bulunmaktadır. Baldo ve Zorzi [15], yapay sinir ağlarını bilişsel ağlarda uygulamışlar ve çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı (MFNNs-Multilayered Feedforward Neural Networks) modeli geliştirmişlerdir. Diğer teknikler ve modellerle karşılaştırarak iyi sonuçlar aldıklarını, MFNN' in kesinlik ve esneklik bakımından başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Bulanık mantık algoritması da literatürde kavramsal ağlarda çok denenmiş algoritmalarıdır. Kaniezhil ve Chandrasekar [16], kavramsal radyoda, bulanık mantık algoritmasına dayalı bir spektrum erişim yöntemi sunmuşlardır. Bulanık mantık metodu ile spektrumun daha etkin kullanımını sağlamayı amaçlamışlardır.

Dinamikliği ile dikkat çeken bir algoritma olan genetik algoritma da, bilişsel ağların gerçekleştirilmesinde akademik camiada dikkat çeken bir algoritmadır. Rondeau vd. [17], bilişsel ağlarda radyo parametrelerini optimize edebilmek için fiziksel katmanda genetik algoritma kullanmışlardır. Bilişsel radyoda genetik algoritma kullanan bir mekanizma geliştirmişler. Genetik algoritma yaklaşımlarını kablosuz sistem genetik algoritma (WSGA) olarak adlandırmış ve optimizasyon için güçlü bir metod olduğunu ileri sürmüşlerdir. Sonuçları hem yazılım simülasyonu hem donanım platformunda test edilmişlerdir.

Benzetim tavlama yönteminin de amacı tıpkı diğer optimizasyon algoritmaları gibi genel bir minimum noktası bulmaktır. Zhao vd. [18] , merkezi bilişsel mimari ile girişim ısı kısıtı altında bilişsel ağ performansını artırmak için benzetim tavlama yöntemini kullanmışlardır.

Karınca kolonisi algoritması, karıncaların yiyeceğe giden en kısa yolu bulma iç güdüsünden yola çıkılarak geliştirilmiş olan bir optimizasyon algoritmasıdır. He ve Zhang [19], karınca kolonisi algoritmasını kullanarak bilişsel ağlarda dinamik kanal atama probleminde çözüm getirmeyi hedeflemişlerdir. Tasarım amaçları sistem

başarımını maksimize etmek ve kanal atama problemini en sağlıklı şekilde çözümlenektir ve sonuç olarak da yüksek performans ve başarımları elde etmişlerdir.

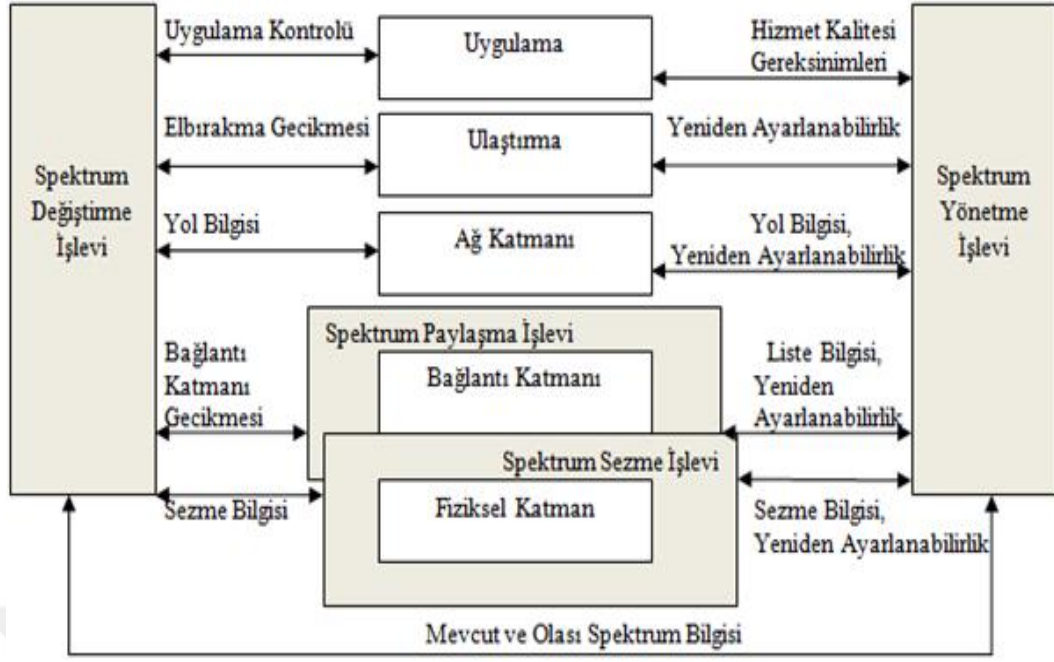
Karınca kolonisine benzer şekilde, arıların topluluk olarak yiyecek arama davranışını temel alarak ve bundan esinlenilerek geliştirilmiş olan yapay arı algoritması da bilişsel ağların gerçekleştiriminde başvurulan yöntemlerden biridir. Cheng ve Jiang [20] , bilişsel ağlarda, diğeri bir optimizasyon algoritması olan, yapay arı kolonisi algoritması kullanarak spektrum erişiminde verimi artırmayı hedeflemişlerdir. Yapay arı kolonisi algoritmasının iyi nümerik optimizasyon sonuçları veren bir algoritma olduğunu gözlemişler ve network performansını artırdığını belirtmişlerdir.

Hibrit algoritmalar ise birden fazla optimizasyon tekniğini kullanmaya imkan sağlayan, başka algoritmaların ortaklaşa çalışabilmesi ile sistemin en iyi değerlerini buldurmayı amaçlayan algoritmalarlardır. Shirazi vd.[21] , kavramsal ağlar için doğruluğu artırmak ve tespit olasılığını artırmak için, bir hibrit sezme algoritması önermişlerdir. Bu hibrit algoritma enerji tabanlı sezme ve dönemli-durağan özellik tespiti tekniklerinin birleşimi ile oluşturmuşlardır. Algoritmalarını başka algoritmalar ile de karşılaştırarak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

3.5.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Spektrum Sezme Yöntemleri

Bilişsel ağların akıllı sistemler olmasının bir sonucu olarak bulunduğu ortamı algılayıp, iletişime geçebilecekleri boş spektrumları bulması işlemi, spektrum algılama olarak ifade edilir[22]. Ancak spektrum dinlenirken ortamdaki birincil kullanıcıların varlığını tespit edebilmelidirler[23]. Birincil kullanıcıları tespit işlemi fiziksel katmanda yapılırken, yeni kanal arama, dinleme süresi gibi durumların kararı ise veri bağı katmanında belirlenir[24]. Şekil 3.2, bu katmanları ve kavramsal ağ iletişim fonksiyonlarını göstermektedir[2].

Literatürde kavramsal ağların kullanılabilmesi için birçok spektrum sezme ve paylaşma yöntemleri geliştirilmiştir.



Şekil 3.2. Kavramsal Ağ İletişim Fonksiyonları

Literatürde spektrum sezme yöntemleri 3'e ayrılmıştır.

- Verici Sezme (Transmitter Detection)
- İşbirlikçi Sezme (Cooperative Detection)
- Girişim Tabanlı Sezme (Interference Based Detection)

3.5.1. Verici Sezme Yöntemi ile Spektrum Sezme

Verici sezme yöntemi kavramsal radyo kullanıcısının ortamı tarayıp birincil kullanıcıdan gelen sinyalleri tespit etmeye dayanan bir yöntemdir. Literatürde bu yöntem genellikle 3 şekilde incelenmiştir.

- Çevrimsel Durağan Özellik Sezme
- Enerji algılama tabanlı sezme
- Uyumlu süzgeç

3.5.1.1.Çevrimsel Durağan Özellik Sezme

Kavramsal radyo ağlarında çevrimsel durağan tabanlı özellik sezme yöntemi ile spektrum sezme yapılırken, ortamda bulunan birincil kullanıcılardan gelen sinyallerin çevrimsel-durağan özellikleri kullanılır. Chen vd. [25], kullandıkları çevrimsel-durağan tabanlı spektrum sezme algoritması ile çok düşük SNR değerlerinde sezme işlemleri gerçekleştirebilmişlerdir. Bu yöntem ile gürültü ayırt edilebildiği için, enerji algılama tabanlı sezme tekniğine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak çevrimsel-durağan tabanlı spektrum sezme yöntemi, yüksek hızlı çalışan işlemciler ve dönüştürücüler gerektirdiğinden yüksek maliyet demektir.

3.5.1.2.Enerji Algılama Tabanlı Sezme

Kavramsal radyo ağlarında enerji algılama tabanlı sezme yöntemi ‘periodogram’ veya ‘radyometri’ yöntemi olarak da bilinir. Bu yöntem ile spektrum sezme yapılırken düşük karmaşıklık gerektirmesi sebebi ile en çok tercih edilen yöntemdir. Ancak bu yöntemde gürültüden oluşan girişimleri ayırmak zordur. Sato ve Umehira [26], enerji sezme tabanlı bir spektrum sezme algoritması önermişlerdir. Sundukları bu yöntemde zaman bölgesinde işaret işleme yapmak yerine frekans bölgesinde işaret işleme yaparak enerji algılama tabanlı yöntemde ciddi bir iyileştirme yapmışlardır.

3.5.1.3.Uyumlu Süzgeç Yöntemi ile Spektrum Sezme

Kavramsal radyo ağlarında uyumlu süzgeç yöntemi ile spektrum sezme, eğer algılanması gereken işaret biliniyorsa en uygun olan sezinleme yöntemidir. Bu sayede diğer yöntemlere göre kesin doğruluk ya da yanlışlık hemen tespit edilebilir. Ancak radyo ortamında algılanması gereken sinyalin tekdüze olması ve kesin olarak bilinmesi çok zor olduğundan bu yöntemin pratikte uygulanabilmesi oldukça zordur.

3.5.2. İşbirlikçi Tabanlı Spektrum Sezme

Kavramsal radyo ağlarında işbirlikçi tabanlı spektrum sezme yöntemi kullanılırken, radyolar ortamda belirsiz olan bazı konular hakkında birbirlerinden bilgi alarak iletişime geçmeye çalışmaktadırlar. Örneğin, spektrumda bulunan algılayıcılar frekans ve zaman kullanımı hakkında bilgi alışverişinde bulunurlar. Ortamda bulunan birden fazla sezici bu verileri birleştirerek ortak bir karar verebilir. Quan vd. [27], işbirlikçi sezinleme yöntemleri hakkında ayrıntılı bir çalışma sunmuşlar.

3.5.3. Girişim Tabanlı Spektrum Sezme

Girişim sıcaklığı ortamda oluşan girişimin bant genişliği olarak tanımlanır. Kavramsal radyo ağlarında girişim tabanlı spektrum sezme tekniğinde, lisanssız kullanıcı ortamdaki girişim sıcaklığının seviyesini sezinleyerek iletişim yapabilir. Ortamdaki bir iletişimde lisanssız kullanıcı, ortamdaki lisanslı kullanıcı girişim sıcaklığı sınırını aşmamalıdır ve parametrelerini bu sınıra göre ayarlayarak sezinleme yapmalıdır.

3.6. Kavramsal Radyo Sistemlerinde Spektrum Paylaşma Yöntemleri

Kavramsal radyo sistemlerinde spektrum paylaşma, spektrum sezme aşamasında sezilen spektrumun diğer kullanıcılar ile koordine bir şekilde kullanmaya devam etme ve iletim bandını paylaşma işlemidir. Spektrum paylaşma teknikleri literatürde, mimarisine göre, erişim davranışına göre ve erişim teknolojisine göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.3, spektrum paylaşma tekniklerinin sınıflandırılmasını göstermektedir [28].

3.6.1.Mimarisine Göre Spektrum Paylaşma

Kavramsal radyo ağlarında, mimarisine göre, lisanslı spektrumu ikincil kullanıcılar arasında paylaştırmada iki yöntem çalışılmaktadır. Bunlar, merkezi ve dağıtık ağ mimarileridir.

3.6.1.1.Merkezi Kavramsal Ağ

Merkezi kavramsal ağlarda, ikincil kullanıcılar arasında spektrumu paylaşırma ve yönetme yetkisi, baz istasyonu gibi merkezi bir kontrolcüye aittir [29]. Bu kontrolcü spektrum kullanımı ve birincil kullanıcılar ile ilgili bilgi biriktirir ve ortamdaki ikincil kullanıcıları haberdar eder.

3.6.1.2.Dağıtık Kavramsal Ağ

Dağıtık kavramsal ağlarda, merkezi bir kontrolcüye ihtiyaç yoktur. İkincil kullanıcılar birbirleri ile birebir iletişim kurarlar. Merkezi bir birim olmadığı için ve ikincil kullanıcılar spektrum kararı verebilmek için her bir ikincil, kullanıcı üzerinde bir sistem bulundurur. Bu, merkezi kavramsal ağa kıyasla daha çok maliyet/karmaşıklık demektir.

3.6.2.Erişim Davranışına Göre Spektrum Paylaşma

Literatürde erişim davranışına göre spektrum paylaşma yöntemleri iki sınıfta incelenmektedir; işbirlikçi ve işbirlikçi olmayan.

3.6.2.1.İşbirlikçi Spektrum Paylaşma

Kavramsal ağlarda işbirlikçi spektrum paylaşma yönteminde bir lisanslı kullanıcı, birden çok lisanssız kullanıcının, kendi lisanslı kanalına erişimine izin vermektedir. İkincil kullanıcılar arasında sağlanan işbirliği sayesinde, sezinleme bilgilerini kendi aralarında değiştirerek, maksimum verim, daha az sezinleme süresi sağlanmaktadır. Öte yandan bu durum oldukça karmaşık ve enerji gerektiren bir yapı gerektirmektedir. Zhang vd.[30] , oyun teorisi tabanlı bir işbirlikçi model önermişlerdir. Oyun teorisinin, işbirlikçi yaklaşıma olan uyumu ve başarımlarını vermişlerdir.

3.6.2.2.İşbirlikçi Olmayan Spektrum Paylaşma

Kavramsal ağlarda işbirlikçi olmayan spektrum paylaşma yönteminde, işbirlikçi yöntemin aksine ikincil kullanıcılar kendi aralarında hiçbir bilgi paylaşmazlar. Her ikincil kullanıcının bencil davranmasından dolayı, ortamda çok fazla ikincil kullanıcı olduğu durumlarda güvenilirlik ve verim düşer.

3.6.3.Erişim Teknolojisine Göre Spektrum Paylaşma

Erişim teknolojisine göre literatürde üç yöntem önerilmiştir. Bunlar, boşluk kovalama (interweave), altına yayma (underlay), üzerine bindirme (overlay) olarak geçmektedir.

3.6.3.1.Boşluk kovalama(Interweave)

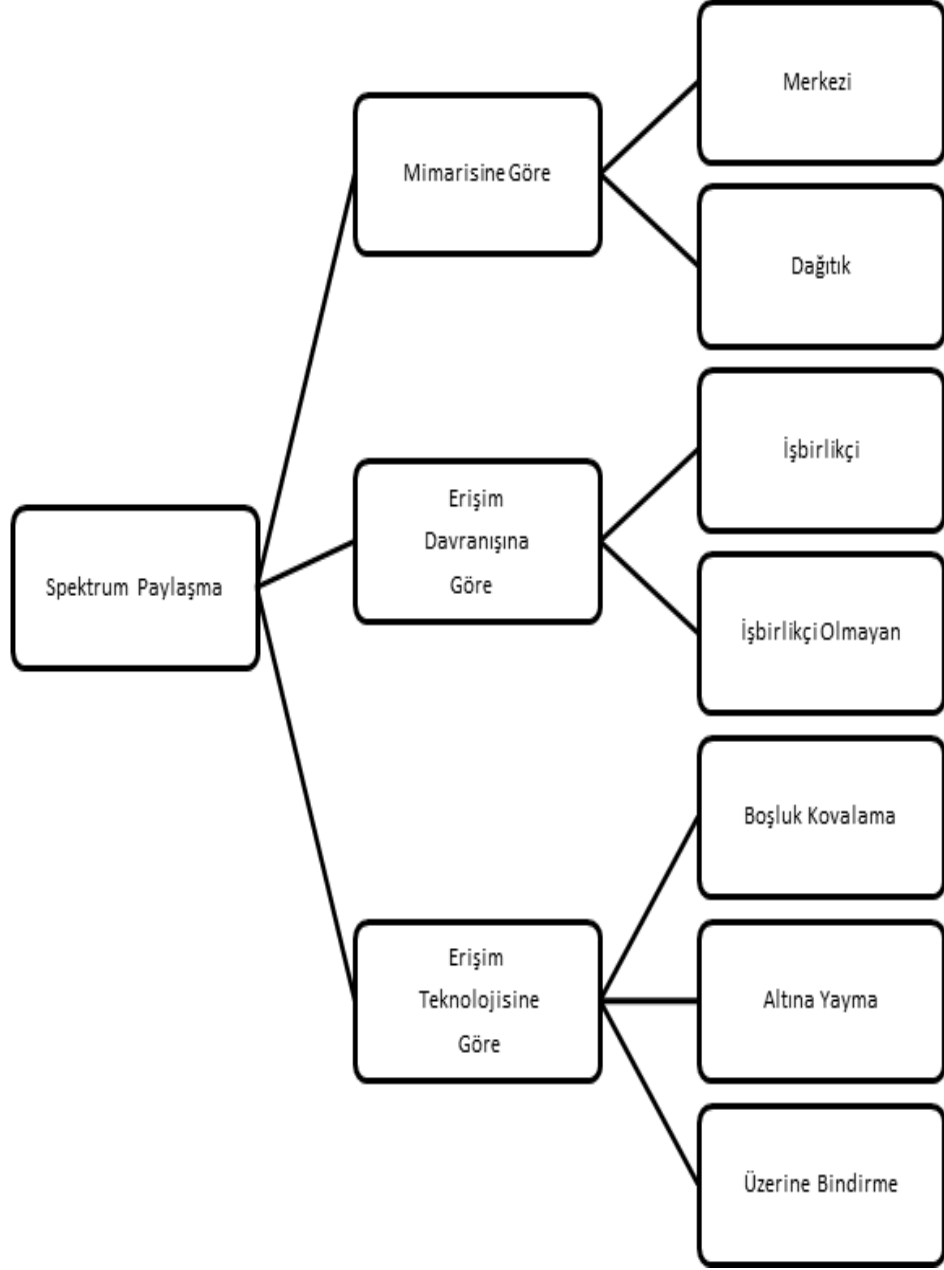
Kavramsal ağlarda Boşluk kovalama(Interweave) ile spektrum paylaşma yöntemi fırsatçı iletişime dayanır. Zaman içinde kullanılmayan boşluklarda fırsat buldukça iletişim yapar.

3.6.3.2.Altına Yayma(Underlay)

Kavramsal ağlarda Altına Yayma (Underlay) yöntemi ile spektrum paylaşma yapılırken ikincil kullanıcının boşlukları kovalaması beklenmez. Girişim sıcaklığını aşmayacak şekilde yani birincil kullanıcıyı rahatsız etmeyecek seviyede, lisanslı kullanıcı ile aynı anda iletişim yapılabilir[31]. Bu yöntem için ultra geniş bant genişlikleri gerekebilir.

3.6.3.3.Üzerine Bindirme(Overlay)

Kavramsal ağlarda Üzerine Bindirme (Overlay) yöntemi ile spektrum paylaşma yapılırken lisanslı vericinin göndereceği bilgileri, lisanssız vericilerin bilmesi gerekmektedir. İkincil verici bu mesajı alıp kodlar ve gönderir. Bu sayede girişim önlenir. Bu sistemde işbirliği yapılırken güç paylaşımı bile gerçekleştirilebilmektedir[32].



Şekil 3.3. Spektrum Paylaşma Teknikleri

Şekil 3.3., anlatılan spektrum paylaşma tekniklerinin sınıflandırılmasını göstermektedir.

3.7.Kavramsal Radyo Sistemlerinde Spektrum El Değiştirme Yöntemleri

Kavramsal ağ ile ilgili ilk alışmalar Federal İletişim Kurulu(FCC)' nun bazı bölgelerde TV bantlarının kullanma oranının az olmasından dolayı lisanssız iletişime izin vermesi olarak gösterilebilir[33]. Bu amaçla ilk standart olarak 802.22 oluşturulmuştur.

Literatürde kavramsal ağların kullanılabilmesi için birçok spektrum el değiştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Spektrum el değiştirme ya da spektrum atlatma, kavramsal radyo ağlarında ortamda bir ikincil kullanıcı tespit edildiğinde, ikincil kullanıcının kanalı terk etmesidir. Burada, yapılan çalışmalardan bazılarına ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Spektrum el değiştirme yöntemleri üzerine alışan, Zahed vd. [34] , gecikmeyi önlemek için yeni bir spektrum el değiştirme mekanizması önermişlerdir. Söz konusu mekanizma kullanıcılara öncelik tanımlayarak gerçekleşmektedir. Burada iletişime geçmek isteyen her bir kullanıcıya bir öncelik değerinin atanması, hem iletişimin sağlıklı ilerlemesi ve akişmaların minimum seviyeye indirilmesi, hem de ağın güvenilirliği ve hız potansiyeli açısından önemlidir. Mekanizmayı farklı parametreler altında uygulamışlar ve mevcut mekanizmalardan daha başarılı olduğunu gözlemişlerdir.

Spektrumda el değiştirmeyi mümkün olduğunca azaltıp uçtan uca gecikmenin en az olacak şekilde olması için çalışmalar yapan, Lertsinsrubtavee vd.[35], gereksiz el değiştirmeleri azaltmayı hedefleyen bir teknik önermişlerdir. Bunun için önceden yapılan ölçümleri biriktirerek bir olasılık hesabı çıkartmışlardır. Bu olasılığa göre el değiştirmelerin yapılmasını, böylece gereksiz el değiştirmeden kaçınmayı önermişlerdir.

İkincil kullanıcıları hareketliliğine göre inceleyerek sınıflandırmak da spektrum el değiştirmede kullanılan bir yöntemdir. Bununla ilgili olarak, Potdar ve Patil ikincil kullanıcıların hareketliliğini inceleyerek öncelik sırasına koymuşlar ve yeni bir spektrum el değiştirme tekniği önermişlerdir[36].

Bulanık mantık, spektrum sezme ve paylaşma yöntemlerinde olduğu gibi spektrum atlatma için de başvurulan algoritmalarından biridir. Kaur vd.[37], kavramsal radyo sistemlerinde bulanık mantık kullanarak yeni bir spektrum atlatma yöntemi önermişlerdir. Burada, ikincil kullanıcılar girişimlerini belli bir limite tutamazlar ise başka boşluklara geçmektedir.

Sistem çalışırken spektrum atlatma gereken durumlara fırsatçı erişimi gerçekleştirmek üzerine çalışmalar yapan, Wang vd. [38], fırsatçı bir spektrum modeli önerilmiştir. Bu çalışmada, ağ üzerinde, belirli aralıklarla spektrum seçme ve bulunduğu spektrumda değiştirme yapılması amaçlanmıştır.

Spektrum atlatmada kanal üzerinde çalışmalar yapan, Konishi vd. [39], kanallar birleştirilerek bu yol ile dinamik olarak spektrumu değiştirme tekniğini çalışmışlar ve performanslarını analiz etmişlerdir. Buna ek olarak önerilen diğer bir yöntem de, Pham vd. [40] gerçekleştirdiği çalışmadır. Bu çalışmada, Hidden Markov modeline dayalı spektrum atlatma modelini önermişler ve analiz sonuçlarının başarısını paylaşmışlardır.

Ayrıca, Tigang ve Tong [41], spektrum atlatma çalışmalarında, tampon kuyruklu spektrum atlatma tekniği önermişlerdir. Buradaki amaçları engellenen bilişsel kullanıcıları depolayarak trafik yığılmasını önlemektir.

Yığılmaları önlemeyi amaçlayan diğer bir çalışma da, Wu vd.[42]'nin gerçekleştirdiği yöntemdir. Bu yöntemde kuyruk teorisi kullanarak bir yöntem önermişlerdir. Geliştirdikleri spektrum atlatma modeli gecikmelere duyarlıdır. Böylece ağın performansını artırmaktadır.

4. GELİŞTİRİLEN TASARIM MODELİ VE KULLANILAN YÖNTEMLER

4.1. Altyapı

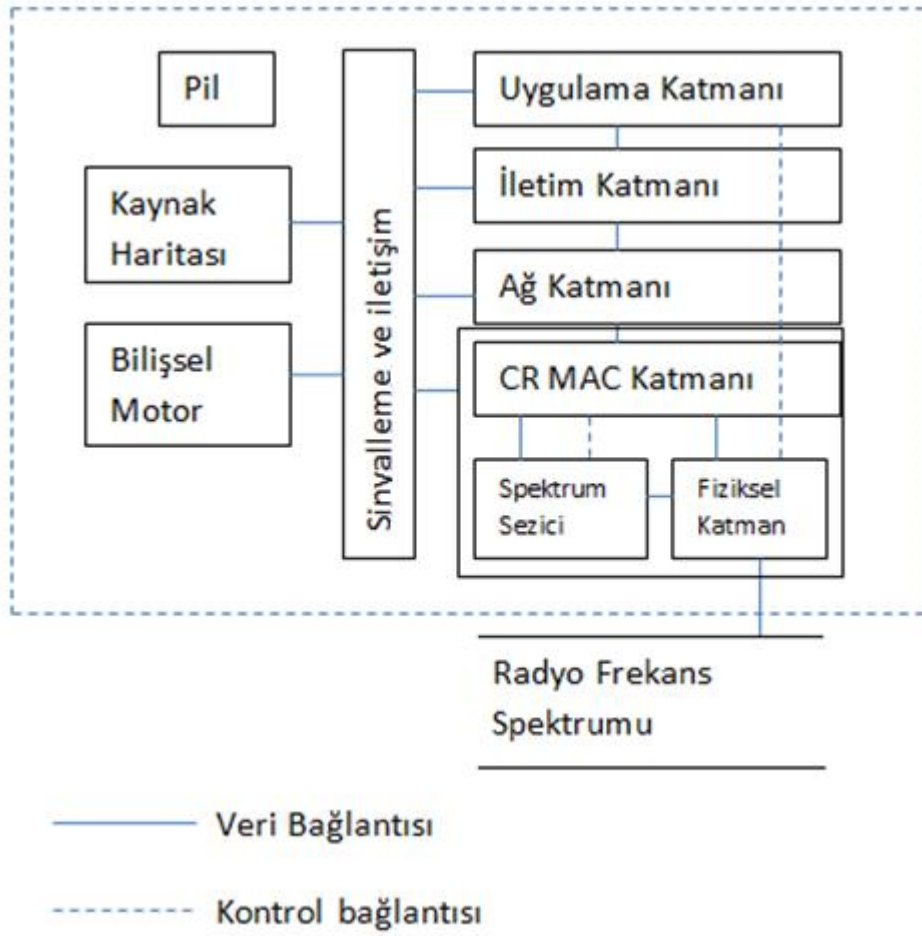
Kavramsal radyo ağı tasarlayabilmek için NS2, NS3, OPNET, OMNET++ gibi bir çok ayrık olay tabanlı simülasyon programı bulunmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen tasarımda, OMNET++ ağ simülasyon programı kullanılmıştır. OMNET++, nesneye yönelik (object oriented) modüler bir ayrık olay tabanlı ağ benzeticisidir. Bu simülasyon programı, haberleşme ağlarının modellenmesini sağlar. C/C++ programlama dilleri kullanılarak programcı açısından esnek bir şekilde tasarım yapılabilme olanağı sağlamaktadır. Ancak tüm bu simülasyon programları CR düğümleri için özel olarak tasarlanmış modeller içermemektedir.

Khan ve arkadaşlarının [43], OMNET ++ platformu üzerinde kavramsal ağ tasarımı yapabilmek için geliştirmiş oldukları “crSimulator” adlı modelleri bu çalışmada alt yapı gereksinimlerini karşılamak üzere kullanılmıştır. Bu model OMNET++ üzerinde, kavramsal radyo tasarlamaya olanak sağlayan bir kütüphanedir.

Şekil 4.1.’ de bir kavramsal ağ düğümünün mimarisi gösterilmiştir[43]. Bu mimariye göre uygulama katmanı başarılı ve başarısız iletişim bilgilerini biriktirir. Kavramsal radyo ağlarında ortam erişimi, spektrum seçimi ve hareketliliğinin zeki algoritmalar ile gerçekleşebilmesi için çok büyük önem arz etmektedir. Bunun için CR MAC katmanına görev düşmektedir. CR MAC protokolü, kanal hareketliliğinin sağlanabilmesi için bir mekanizma içermektedir[43]. Kısa süre içerisinde, kanal değişimini sağlayabilmek için verimli bir MAC protokolüne ihtiyaç vardır. Bu modelde CSMA tabanlı MAC protokolü tercih edilmiştir. Bu protokol, kanalı periyodik olarak sezer ve diğer modüllere iletir.

Fiziksel katman, alıcı-verici donanımını modeller ve her giden veri paketine gerekli bilgileri ekler. Bu bilgiler, RF spektrum modülünde sinyal yayılımı için kullanılır.

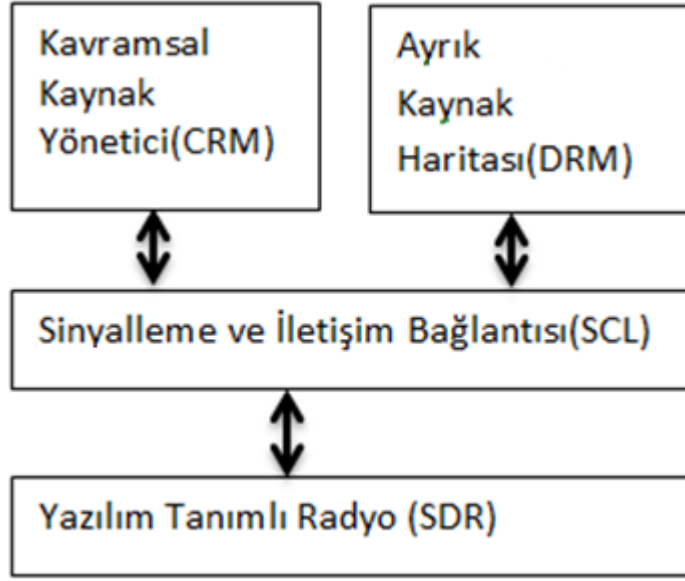
Spektrum sezici modül, kavramsal ağlar için hayati öneme sahip olan bir modüldür.



Şekil 4.1. Temel Kavramsal Ağ Düğümü Mimarisi

Bu modül ile CR MAC protokolü sıkı ilişki içinde çalışmaktadır. İletişim başlayınca MAC katmanı, iletişim için boş kanal olup olmadığını sorar.

Şekil 4.2.' de bu kavramsal radyo mimarisinin bileşenleri verilmiştir [44]. Kullanılmış olan mimari, esnek bir yazılım tanımlı radyodur. Anlık adaptasyonlar sağlayabilmesi için, ayrık kaynak haritası (Distributed Resource Map, DRM) ile tamamlanmaktadır. DRM, düğümler arası, yerel spektrum sezme bilgilerini biriktirir[44]. Kavramsal kaynak yöneticisi(CRM), ağı optimize etmektedir. Bir düğüm veya bir ağın, zeki ve durum-farkında davranışını kolaylaştırmak için, CR birçok algoritma ve metot içermektedir[44].



Şekil 4.2. Kavramsal Radyo Mimarisi Bileşenleri

Bu algoritma ve metotlar birbirinden bağımsız çalışabilir ve böylece birçok farklı öneri oluşabilir. CRM, tüm bunları toparlayıp, sistemin merkezi bir amaçla koordine edebilir. CRM, bir çekirdek ve bir veya daha fazla CRM modülü içermektedir[44]. Çekirdek, bir ara yüz ile diğer modülleri koordine eder. Bir modül özel bir algoritma içerebilmektedir. Bu algoritmalar enerji tüketimini minimize etmek veya spektrum bilgilerini biriktirmek gibi çok çeşitli sebeplerle kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılmış olan mimaride, parçacık sürü optimizasyon algoritmasına dayalı bir algoritma oluşturulmuş ve bağlantı parametre optimizasyon modülü oluşturulmuştur. Bu modül bit hata oranını minimize eder ve iki düğüm arası bağlantı gücünü optimize eder.

Bir kavramsal radyo, çevrenin ve gerçekleşmekte olan işlemlerin her an farkında olmalıdır. Böylece spektrum sezme fırsatlarının ve birincil kullanıcıların aktivitelerinin takibini yapabilir. Bu çalışmada kullanılan mimaride bunları gerçekleştirmek için, ayrık kaynak haritası kullanılmıştır. Ayrık kaynak haritası, tıpkı bir bilgi bankası gibi işler ve her düğüm bir DRM veri tabanı tutar. DRM, radyo frekans spektrumundan bilgi toplayarak işler. Her kavramsal radyo düğümü, kendi

donanım ve yazılım kaynakları ile çevreden bilgi alır. Bu bilgilerin durum ve kesinliği düğümün yerleşimi ve yeteneğine göre değişim göstermektedir. Her düğüm spektrum fırsatlarını tanımak ve spektrum sezmek için ve aynı zamanda birincil kullanıcılara karşı girişimden kaçınmak için çalışmaktadır. Her kavramsal radyo farklı radyo ön uçları, farklı algoritmalar ve farklı fiziksel yerleşmeler nedeniyle önemli ölçüde farklı sonuçlar ortaya koyabilir.

Yazılım tanımlı radyo, bir kavramsal radyo mimarisinin anahtar içeriğidir. Çünkü kavramsal radyolar, yazılım tanımlı radyolara, zeki algoritmalar eklenmesi ile gerçekleşmektedir. Yazılım tanımlı radyonun iki temel bileşeni vardır. Bunlar fiziksel katman ve bağlantı katmanıdır. MAC ve fiziksel katman, SDR alanı içine gömmek, frekans, iletim gücü gibi ayarlamalar için kritik öneme sahiptir.

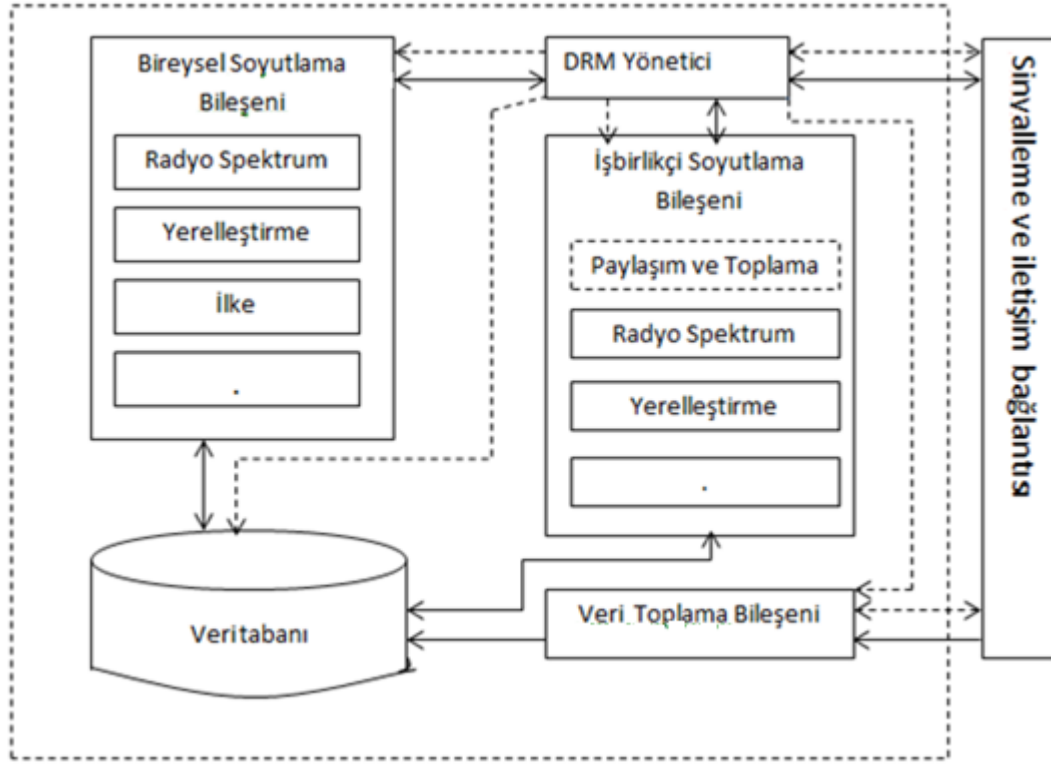
Bileşenler arası kontrol ve veri değişim frameworkü olarak bulunan sinyalleme ve iletişim bağlantısı (SCL), bileşenlerin birbiri arası iletişimini sağlamaktadır.

Şekil 4.3.' de yukarıda anlatılan DRM' in mimari yapısı verilmiştir [45]. Şekilde görülmekte olan veri toplama bileşeni, iletişim protokolünün farklı katmanlarına ve donanım bileşenlerine bir bağlantı görevi görmektedir.

Veri toplama bileşeni, yerleşik GPS sensöründen gelen GPS verilerini veya fiziksel katmanda gerçekleştirilen spektrum algılama sonuçlarını yakalayabilir ve bu verileri veri tabanına saklanmak üzere gönderir. Veri tabanı ünitesi, DRM' in ana depolama birimidir. Bu veriler daha sonra spektrum haritasını oluşturmak ve birincil kullanıcıların yerlerini tespit etmek için kullanılırlar.

DRM yönetici, ana kontrol birimidir. Aynı zamanda dış birimlere karşı ara yüz görevi de görür.

Bireysel soyutlama bileşeni, kavramsal radyo düğümünün, yazılım/donanım biriminden gelen ham verileri kullanılabilir kılan bir birimdir. İhtiyaç duyulan algoritmalar bu birime eklenir.



Şekil 4.3. DRM Mimarisi

İşbirlikçi soyutlama bileşeni, diğer DRM' ler için bilgi sorgulamaktan ve onlara kendi seviyesini ve durumunu bildirmekten sorumludur.

Bir kavramsal ağda, kavramsal radyo düğümler GPS sensörleri ile donatılmış ve basit enerji tabanlı spektrum sezme mekanizmaları ile birincil kullanıcıları sezinleyebilir ve yerlerini veri tabanında tutabilir. Eğer farklı lokasyonlardan farklı ölçümler alınırsa, her düğüm, ham veriye bir yerleşme algoritması uygulayabilir ve birincil kullanıcıların yerlerini hesaplayabilir.

Ulaşılabilir kaynakların farkında olmak ve girişimlerden kaçınmak için, kavramsal radyo düğümü sürekli, radyo spektrumunu gözlemek durumundadır. Yazılım ve donanım kullanarak spektrum sezme için, sırasıyla boş kanallar ve dolu kanallar için, 0 ve 1 şeklinde ikili eşleştirme yapılmalıdır. Bu ikili sonuçlar, girişimden kaçınmak ve spektrum kullanımını optimize etmek için kullanılabilir. Spektrum algılamının kabul edilebilir bir dereceye kadar doğru olduğunu varsayarsak, biriken

ikili sonuçlar kanal içinde birincil kullanıcı görünümünü ve kaynak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılır.

Spektrum sezme sonuçları, binary zaman serileri ile gösterilir. Böylece bir kavramsal radyo düğümü, spektrum kullanımı ve gelecekte kanalların kullanım olasılığı hakkında bilgi sahibi olur. Bu mimaride kullanılan DRM' in tüm bileşenleri QT pencereleme kütüphanesi kullanılan bir GUI ile C++' da geliştirilmiştir[45]. Veri tabanı SQLite ile uygulanmıştır[45]. Enerji algılama tabanlı spektrum sezme bileşeni SDR, farklı frekanstan güç seviyelerini algılar ve ikili sonuçlar üretir. Bu sonuçlar DRM veri tabanı içinde bir tabloda tutulur. Böylece en iyi kanalı bulmada DRM görev almış olur.

4.2.Algoritma

Kavramsal radyo ağları tasarlanırken, en çok kullanılan algoritma genetik algoritmadır. Ancak genetik algoritmanın yakınsama hızı düşüktür. Bu soruna karşılık ve genetik algoritmanın hesaplama maliyetini düşürmek için parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSO) kullanmak yararlı olacaktır.

Parçacık sürü optimizasyon algoritması, 1995 senesinde, Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy' nin geliştirmiş olduğu popülasyona dayalı, sezgisel optimizasyon algoritmasıdır[46]. PSO' da her bir parçacık yeni bir sonuç verir. Bütün parçacıklar üzerindeki uygunluk değerleri, bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Rastgele bir sayı oluşturularak, bu sayı kadar çözümle algoritma başlatılır. Parçacıklar devamlı olarak güncellenerek en makul çözüm bulunmaya çalışılır. Parçacıklar tek tek, her bir parçacığın en uygun çözümü (lBest) ve bütün parçacıkların en uygun olan çözümü (gBest) ile güncellenir. Algoritmada, c_1, c_2 öğrenme sabitidir. V_{max} , bir parçacığın maksimum hızıdır.

Mahdi ve arkadaşları [47], PSO'dan hareketle, Uyarlanabilir Ayrık Parçacık Sürü Optimizasyonu (Adaptive Discrete Particle Swarm Optimization-ADPSO) adında bir algoritma önermişlerdir. Önerdikleri bu algoritmanın yakınsama hızı ve yüksek

uyum değerleri ile genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmasından daha verimli olduğunu göstermişlerdir[47].

Mahdi ve arkadaşlarının[47], sundukları ve bu çalışmada kullanılan simülatör kütüphanesinin altyapısında kullanılan ADPSO algoritması adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1:

$t=0$ ' da çözümü başlat

$$x_i^t = [x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{in}^t] \quad (4.1)$$

i , S sürüsündeki her bir parçacık
 n , S sürüsünün boyutu

Adım 2:

Her parçacığın uygunluk değerini hesapla

Her bir parçacık için t 'ye kadar en yüksek uygunluk değerini lBest' e yaz

$$lBest_i^t = [x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{in}^t] \quad (4.2)$$

lBest'te en yüksek uygunluk değerine sahip olan parçacığı gBest'e yaz.

$$gBest^t = [x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t] \quad (4.3)$$

Adım 3:

Sürüdeki her bir parçacık için hız vektörü başlat.

$$V_i^t = [V_{i1}^t, V_{i2}^t, \dots, V_{iB}^t] \quad (4.4)$$

B :İkili formatta parçacığı temsil eden bitlerin sayısı

$$1 < b < B, V_{ib} \in [-V_{max}, V_{max}]$$

Adım 4:

(w) , momentum katsayısı başlangıç değerini 0.9 olarak ata
(c1) ve (c2) başlangıç değerini 2.0 olarak ata

Adım 5:

İterasyonu 1 artır

Adım 6:

Her x_i^t parçacığını ikili formata çevir.

$$X_i^t = [X_{i1}^t, X_{i2}^t, \dots, X_{iB}^t] \quad (4.5)$$
$$1 < b < B, X_{ib} \in [0,1]$$

Adım 7:

lBest^t ve gBest^t değerlerini ikili forma çevir

Hız vektörünü formüle göre güncelle

$$V_{ib}^{t+1} = [w^t V_{ib}^t + c_1 r_1 (lBest_{ib}^t - X_{ib}^t) + c_2 r_2 (gBest_b^t - X_{ib}^t)] \quad (4.6)$$

$$V_{ib}^{t+1} \in [-V_{max}, V_{max}]$$

Adım 8:

Her V_{ib}^t değerini sigmoid fonksiyonunu kullanarak, gerçek sayıya çevir.

$$\text{sig}(V_{ib}^{t+1}) = \frac{1}{1+e^{-V_{ib}^{t+1}}} \quad (4.7)$$

0 ile 1 arasında rasgele bir sayı üret ($r \in [0,1]$)

Eğer; $r > \text{sig}(V_{ib}^{t+1})$ ise;

$$X_{ib}^{t+1} = 0; \quad (4.8)$$

Değilse

$$X_{ib}^{t+1} = 1; \quad (4.9)$$

Adım 9:

Güncellenen her parçacık için uygunluk değerini hesapla
Eğer; $lBest_i$ 'nin uygunluğundan daha yüksekse,
Önceki parçacığın pozisyonunu yenisi ile değiştir.

Adım 10:

Yerel en iyide uygunluğu maksimum olan parçacığı bul ve onun uygunluk değeri ile global en iyinin uygunluk değerini karşılaştır.
Eğer daha yüksekse; global en iyi pozisyonunu güncelle

Adım 11:

c_1, c_2 değerlerini güncelle

Adım 12:

Eğer global en iyi değeri yakınsak ise,
Seçkin Öğrenme Stratejisi (Elitist Learning Strategy-ELS) uygula.
(Bu strateji global en iyi parçacığın boyutunu rastgele seçer ve bu değeri aşağıdaki fonksiyona göre günceller.)

$$d = \text{random}(1, n) \quad (4.10)$$

$$\sigma = \sigma_{\max} - (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \times \frac{t}{T} \quad (4.11)$$

$$d = d + (UB(d) - LB(d)) \times \text{Gaussian}(\mu, \sigma^2) \quad (4.12)$$

Eğer, yeni parçacık daha iyi bir uygunluk değerine sahipse,
global en iyi değerini güncelle.

Değilse,

parçacığı minimum uygunluk değeri ile değiştir.

Adım 13:

Eylemsizlik momentini aşağıdaki formüle göre güncelle

$$w(f_{\text{total}}^t) = \frac{1}{1+1.5e^{-2.6f_{\text{total}}^t}} \quad (4.13)$$

Adım 14:

İterasyon sayısı t , maksimum değer olan T ye erişince dur.

Değilse adım 5'e git

ADPSO, Kavramsal radyo ağı için en iyi parametreleri belirlerken geçen süreyi azaltmak ve parçacık sürü optimizasyonu ile genetik algoritmadaki yerel optimum problemlerini ortadan kaldırmak amacı ile işler.

Bu çalışmada yönlendirme protokolü olarak, CAODV[48] protokolü uygulanmıştır. CAODV protokolü boş spektrum bulabilmek amacıyla isteğe bağlı olarak harekete geçen bir algoritmadır [48].

5. KAVRAMSAL RADYO SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE TEST EDİLMESİ

Bu çalışmada bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılan alt yapı ve yöntemler kullanılarak bir kavramsal radyo yerel alan ağı geliştirilmiştir. Bu bölümde geliştirilen sistemin ara yüzleri ve çalışma stratejisi gösterilmiş, sistemin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Bu çalışmadaki temel amaç, bilişsel kullanıcılar için iletişime geçecekleri spektrum kanallarının seçilmesine, bilişsel kullanıcıların bağlantı süreleri boyunca gerçekleştirilecek spektrum kanal geçişi sayısını azaltmak, mümkün olan en az hata oranı ve gecikme ile iletişime geçirilmesini sağlamaktır. Her spektrum kanalı değiştirme durumu, tüm spektrumunun tekrar tekrar taranmasını, boş kanal var mı yok mu tespit edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu gereklilik ise iletişimin gecikmesine ve sistemin sağlıklı işleyebilmesi için gerekli olan güç ve kaynakların tüketilmesine sebep olmaktadır. Bu durum işletim yükünün yani servis sağlayıcısından kaynaklanan yükün de fazladan olmasına neden olacak ve ağın performansının düşmesine sebebiyet verecektir.

Tasarlanmış olan kavramsal ağ sisteminde, kanal seçme yöntemi merkezi olarak bilişsel radyo servis sağlayıcısı üzerinden yürütülmekte olup bu görev birincil kullanıcılara yüklenmiştir ve birincil kullanıcılar tarafından uygulanmaktadır. Merkeze dayalı bir altyapı oluşumu ile bilişsel radyo terminallerinin her birinin ekstra güç harcayarak kanal araması ortadan kaldırılmıştır. Böylece her bir bilişsel radyonun maliyetli donanım gereksinimleri ve buna ek olarak her bir bilişsel kullanıcının spektrum kanallarını tutabilmesi için gerekli olan veri tabanı için ekstra bellek gereksinimi de ortadan kalkmıştır.

Benzetim süresince ulaştırma katmanında TCP protokolü kullanılmış olup, veri trafiğini gerçekleştirmek amacı ile uygulama katmanında da FTP protokolü kullanılmıştır.

5.1. Simülasyon Üzerinde Kavramsal Radyo Ağı Tasarımı

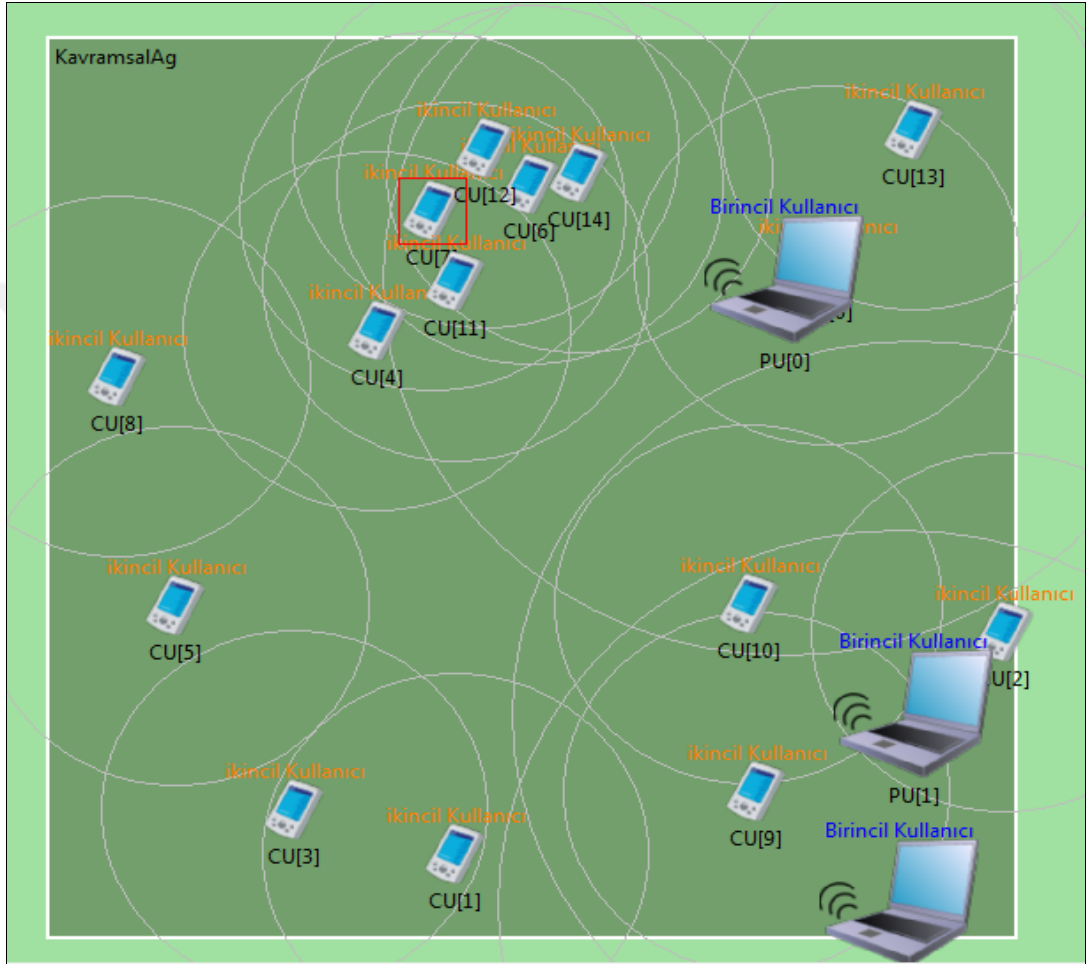
Bu çalışma kapsamında, önceki bölümlerde de bahsedilen birçok çalışma harmanlanarak bilişsel olarak iletişim yapabilen bir ağ tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım zaman zaman tıkanıklıkların yaşandığı bir kampüs ağında bulunan, bir bölüm başkanlığının bulunduğu katta yer alan erişim noktalarının (Access point) konumundan ve kullanıcı sayısının zamana göre değişkenliğinden esinlenilerek, bir kavramsal radyo ağı ile yer değiştirilmesi durumunda nasıl bir performans çizeceğine örnek olması açısından geliştirilmiştir.

Geliştirilen tasarım, OMNET++ ortamında bir simülasyon gerçekleştirilerek test edilmiştir. Simülasyonlar Intel(R) Core(TM) i5-3210M 2.5 GHz işlemci, 4 GB RAM olan bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen sistemde bir kavramsal radyo ağı tasarlanmıştır. Tüm senaryo boyunca, hareketli olan bilişsel düğümler, alana rastgele dağılmış, birincil düğümler ise sabit bir şekilde konumlanmıştır. Sistem 3 adet birincil (lisanslı) kullanıcı, 15 adet ikincil (lisanssız, Bilişsel-kavramsal) kullanıcı olmak üzere toplam 18 düğümden oluşmaktadır. Senaryonun topolojisi şekil 5.1.' de görülmektedir. Birincil düğümler sabit pozisyonda olup şekil 5.1.' de dizüstü bilgisayar ile gösterilmektedir. İkincil düğümler ise hareketli pozisyonda olup şekil 5.1.' de cep telefonu ile gösterilmektedir. Topolojide birincil düğümler "PU", ikincil düğümler de "CU" etiketi ile etiketlenmiştir. Her bir ikincil düğümün iletim aralığı 120 metre ile, her bir birincil düğümün iletim aralığı ise 240 metre ile sınırlıdır ve IEEE 802.11b standardı, standart olarak belirlenmiştir. IEEE 802.11b, bilgisayar haberleşmesinde, IEEE 802.11 kablosuz yerel ağ standardının versiyonlarından biridir. 802.11b azami 11 Mbit/s hıza sahiptir ve 2.4-2.5 GHz frekans bandında çalışır. Böylece sistem de 2.4-2.5 GHz frekans bandında ve 11 Mbit/s hız ile çalışmaktadır. Simülasyonun süresi 120 saniye olarak belirlenmiştir.

Hareketli bilişsel düğümler "Random Waypoint" modeline göre hareket etmektedirler. Düğümün hareket süreci OMNET++ platformunun hareket üretici tarafından sağlanır.

Hareket dosyası oluşturulurken senaryoda bulunan hareketli ikincil düğüm sayısı, düğümlerin maksimum hızı, simülasyonun toplam süresi, duraklama zamanı, topolojinin koordinatları belirtilir. Duraklama süresi düğümün hareketinden önce durma zamanıdır. Düğüm duraklamasının ardından dosyada belirtilen yöne doğru hareket eder.



Şekil 5.1. Tasarlanan Kavramsal Ağ

Simülasyon parametreleri; düğüm sayısı 18, paket gönderim hızı 1 paket/s, her paketin boyutu 512 Byte, oluşabilecek maksimum hız 11 Mbit/s, simülasyon süresi 120 saniye olarak belirlenmiştir. Sistemin test edilmesinde, paket alım oranı, ortalama uçtan uca gecikme, yük ve adım sayısı kriterleri uygulanmıştır. Bu

kriterlere göre performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve ileri bölümlerde bu sonuçlara yer verilmiştir.

Bilişsel ağlarda yönlendirme işlemi ağın performansını etkileyen en önemli olaydır. Bir bilişsel ağda boş kanal bulunamaması sebebiyle, paketlerin bekleme süresi artarsa veya paket kayıpları gerçekleşirse, bilişsel ağın gerçekleştiriliyor olmasının bir anlamı kalmayacaktır. Çünkü temel amacı hız ve spektrum verimliliğini artırmak olan bilişsel radyo teknolojisinde paket kayıplarının yaşanması, ölümcül bir hata olacak ve sistemin performansını düşürecektir ve ağa fazladan yk binmesine sebep olacaktır. Bu çalışmada böyle sorunlara sebebiyet vermemek için CAODV protokolü uygulanmıştır.

CAODV protokolü boş spektrum bulabilmek amacıyla isteğe bağlı olarak harekete geçer. Temel olarak bir kavramsal radyo iletişime geçmek istediği zaman, bir yol kurma isteği yollamaktadır. İsteğe karşılık gelen ilk cevabın iletildiği yol kullanılarak iletişime geçilir. CAODV protokolünde bir düğüm koşulara yol istek paketi gönderdiği zaman, bu paketi kendi tablosuna da yazar ve gelecek cevaba göre karşısına durumunu da yazmış olur.

Bir düğüm, kullanılabilir her kanal için bir tane olmak üzere birkaç yol depolayabilir. Yn istek paketi hedefe doğru ilerlerken, aynı zamanda cevap için de bir ters yol oluşumuna dayalı yn tesisi gerçekleşir. Düğümler bir paket göndermeden önce birincil kullanıcı varlığını kontrol eder. Bir kavramsal radyo düğümü, birincil kullanıcı etkinliği olmayan bir kanal üzerinden yönlendirme isteği (RREQ) aldığı zaman, aynı kanal üzerinden, istek gönderen ikincil kullanıcıya doğru bir ters yol oluşturur. Eğer isteği alan ikincil kullanıcı, isteği gönderen hedef için geçerli bir yol sağlayabilirse, bu hedefe aynı kanalı kullanarak bir yönlendirme yanıtı (RREP) gönderir. Eğer oluşturamazsa RREQ paketinin bir kopyasını kanal i üzerinden yayınlar.

Bu tez çalışmasında CAODV, yol keşfi için gerekli olan paketleri sadece gerekli gördüğü zaman yaymaktadır. Bu durum sistemin daha da dinamik olmasını sağlar. CAODV protokolünde her düğüm, iletişime geçtiği başka düğümlere giden yol

bilgilerini, bir yönlendirme tablosuna atmaktadır. Bu tabloda varış adresi, varış sekans numarası, adım sayısı, bir sonraki düğüm, yönlendirme bayrakları ve yolun ömrü bilgileri tutulmaktadır. Burada adım sayısı yolun üzerinde yer alan düğümlerin sayısını; yolun ömrü, yolun geçerli olarak tutulacağı süreyi; yönlendirme bayrakları ise yolun kullanılıyor olup olmama durumunu ve ya yolun bozuk olup olmama durumunu tutmaktadır.

Bir düğüm başka bir düğüm ile iletişime geçmek istediği zaman, bir yol istek paketi yayınlamaktadır. Böylece yol bulma sürecini başlatır. Yani yol bulma işlemi bir yönlendirme isteği (RREQ) ile başlar.

RREQ paketinin içeriği şöyledir;

RREQ<kaynak_adresi, kaynak_sekans_no, yayın_no, varis_adresi, varis_sekans_no, hop_sayısı>

RREQ paketleri kaynağın adresi ve yayın numarasına göre ayrıştırılır. Kaynağın sekans numarası, kaynağa geri dönüş yolunun durumunu belirler. Varış sekans numarası, varışa giden yolun durumunu belirler. RREQ paketi almış olan bir düğümün yönlendirme tablosuna bakıldığında, varışa dair bir yol bulunmuyorsa, RREQ paketi yayınlanır ve kaynağa doğru giden bir ters yol kurulur, bu yol yönlendirme tablosuna eklenir. RREQ paketini, gidilecek adrese yolu mevcut olan bir düğüm alırsa eğer, yönlendirme tablosuna bakılır ve gelmiş olan paketteki ve tablodaki sekans numaraları eşleştirilerek yolun durumu belirlenir. Daha sonra ise yol cevap paketi (RREP) paketi gönderilir.

RREP paketinin içeriği şöyledir;

RREP<kaynak_adresi, varis_adresi, varis_sekans_no, hop_sayısı, yol_ömrü>

Gelen RREQ paketine cevap verilirken, önceden kurulmuş olan yol izlenmektedir. Bir bilişsel düğüm RREP paketi aldığı zaman, bilgileri kaydederek, ileri yönlü bir yol oluşturmaktadır. Bilişsel radyo yeni bir RREP almış ise ve yeni RREP daha yeni veya daha az adım sayılı ise, tabloyu güncellemektedir. Bu bilgiler alındıktan sonra iletişim başlar. Ancak, zaman içinde oluşabilecek birincil kullanıcı istekleri

karşısında veya daha iyi bir yol bulunduğunda, bu yolu bırakıp başka bir yolu kullanmaktadır.

CAODV protokolünün uygulanmış olduğu senaryoda, CU13 düğümünün, CU14 düğümüne paket göndermesi durumu ele alınsın. CAODV protokolünün işleyişine göre, her bir düğüm, kendi yayınlama alanındaki düğümler hakkında bilgi sahibidir. Dolayısı ile CU13 düğümü kendi yayın alanında olmadığından dolayı, CU14 düğümü ile ilgili bilgi sahibi değildir. CU13 düğümünün bu durumda yapması gereken şey, önce CU14 düğümünün yerini tespit edecek, sonra spektrumun boş olup olmamasını test edecek ve ondan sonra iletişime geçecektir.

CU14 düğümünün yerini tespit edebilmek için CU13 düğümü, önce bir RREQ yayınlar ve tüm ağa bu paketi broadcast olarak yayar. CU14 düğümü, CU13 düğümünün yayın sahasında değildir. Ancak her ikisi de PU0 adlı birincil kullanıcının yayın sahasındadır. Birincil kullanıcıların yayın sahasının genişliği ve hangi düğümleri kendi sahasında barındırdığı da şekil 5.1.' de görülmektedir. Bu durumda birincil kullanıcıya da ulaşan RREQ sayesinde, CU14' ün yeri tespit edilmiş olur. Birincil kullanıcı üzerinden broadcast paketi, CU14'e ulaştırılır.

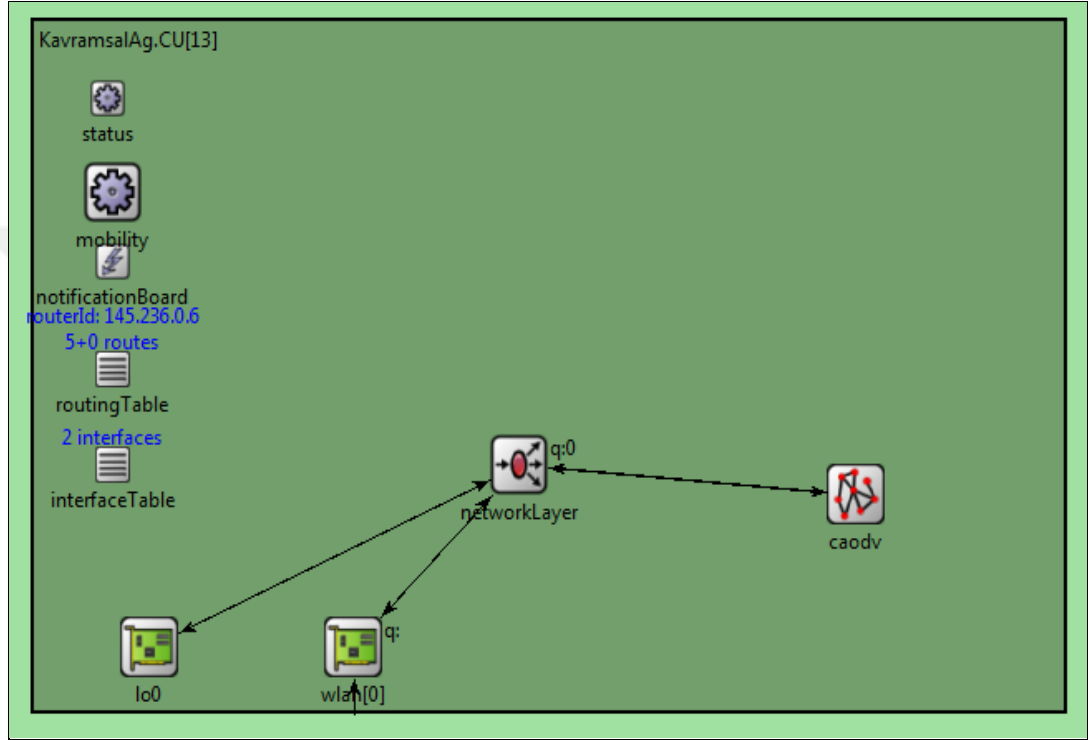
Her RREQ paketinde, kaynak adresi ve istek numarası yazmaktadır. Bu değerler lokal geçmiş tablosunda tutulmaktadır. Bu tabloya bakılır ve değerler karşılaştırılır. Eğer aynı paket önceden var ise paket çöpe atılır. Eğer paket ilk kez alınmış ise, sonraki karşılaştırmalarda kullanılmak üzere, tabloya alınır ve isteğin gelmiş olduğu düğüme RREP mesajı yollanır. Eğer alınan düğüm, hedef ile ilgili bir bilgiye sahip değilse, hop sayısını bir artırır ve paketi yayınlar.

Dönüş paketini almış olan CU13, aynı zamanda CAODV protokolü ve optimizasyon algoritması sayesinde, birincil kullanıcının durumundan da haberdar olmuş olur. Birincil kullanıcının kanalının boş olduğunu, CU13' e bildirmesi üzerine, veri paketini yayınlar.

Bu tez çalışmasında, sistemin çalışmasının daha iyi analiz edilebilmesi için, aynı anda birden fazla veri paket iletimi yapılmadığı düşünülmüştür. İletim sırasında,

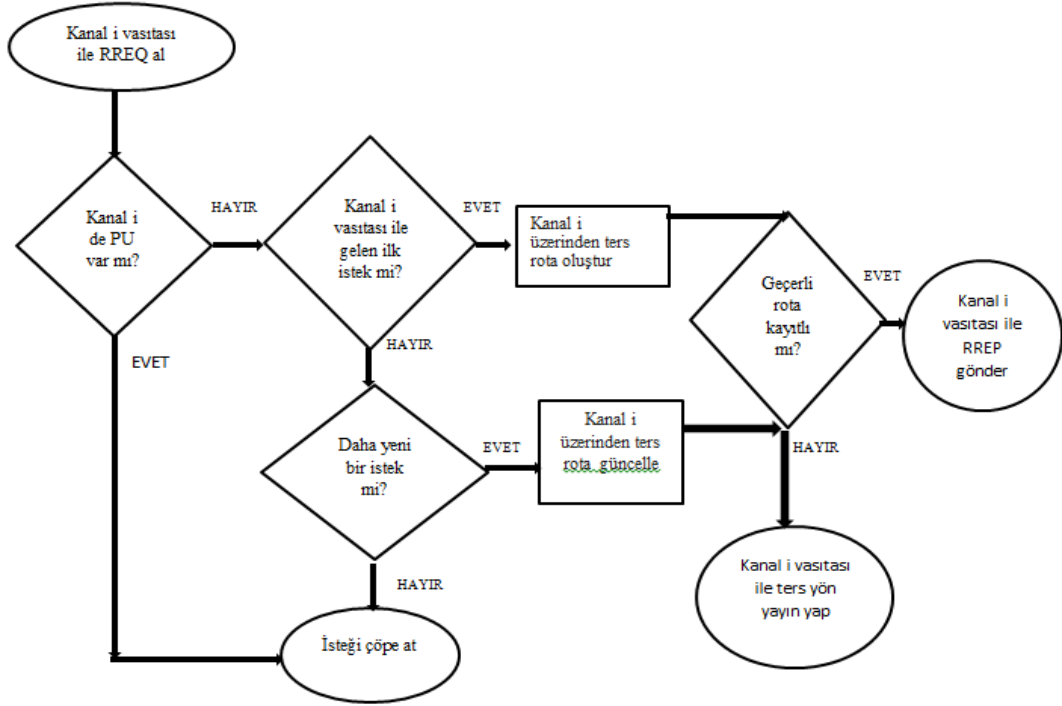
gönderici düğümün, gönderilen düğüme kaç adımda gidildiği hop sayısı olarak tutulur.

Şekil 5.2, CU düğümünün altyapısı ve CAODV protokolü ile uygulanışını göstermektedir. CAODV protokolü, her bir düğümün ağ katmanı ile ilişkili olarak çalışır.



Şekil 5.2. CU Düğüm Altyapısı ve CAODV Protokolü ile Uygulanışı

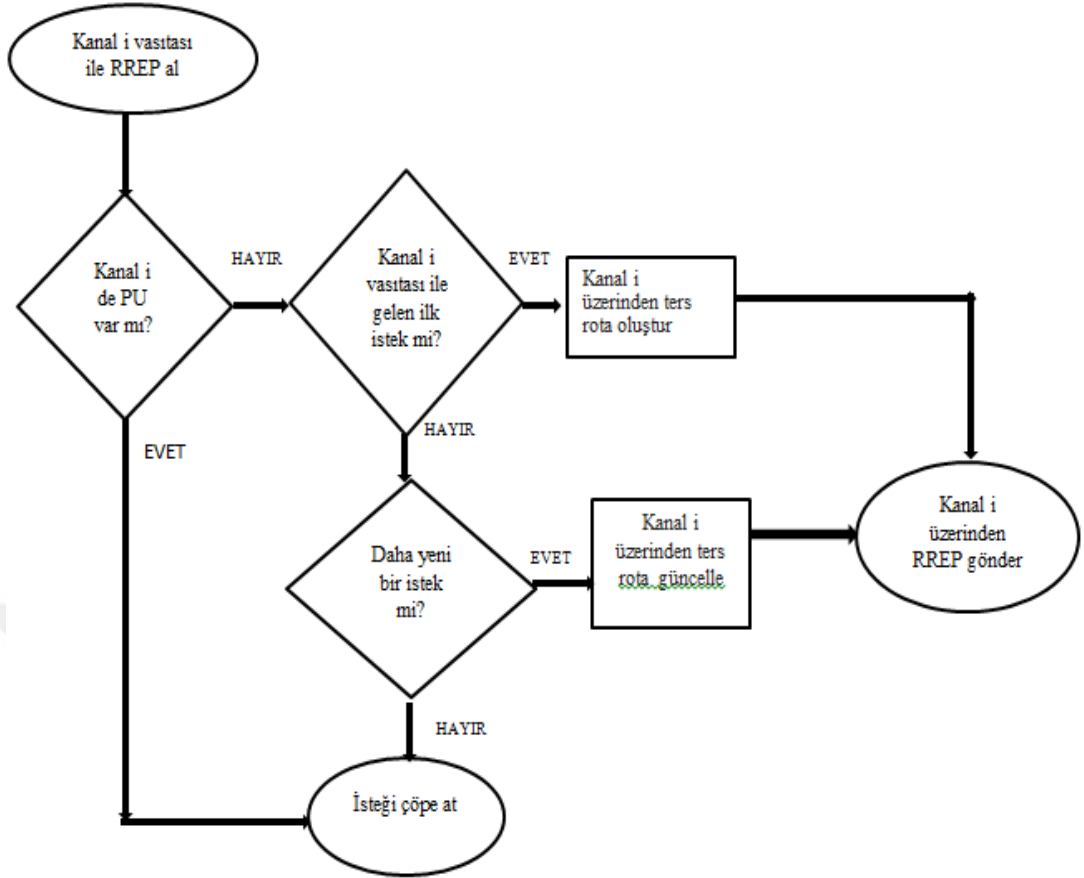
Yönlendirme istekleri halka arama tekniği ile yayımlanır. Bir kavramsal kullanıcının istekleri ve cevapları değerlendirmesi gerekir. Anlatılan bu aşamalar Şekil 5.3.' de, RREQ paketinin gönderim aşamalarının akış diyagramı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.3. RREQ Paketi Akış Diyagramı

Aynı kanal üzerinde başka bir RREQ alındığı zaman, CU, isteğin yeni bir rota veya yönlendirme tablosundaki yollardan daha iyi bir rota olup olmadığını kontrol eder. Eğer öyleyse, yolu günceller, RREP gönderir veya RREQ yayınlar. Aksi takdirde paketi çöpe atar.

Boş bir kanal üzerinden, bir CU ara düğümü ilk defa RREP aldığı anda, RREP gönderene doğru, aynı kanal üzerinden ileri yönlü bir yol belirler ve kanal i üzerinden, ters yol boyunca RREP' in bir kopyasını iletir. Eğer kanal i aracılığı ile bir RREP alındığında, CU daha iyi bir rota ise veya daha iyi bir seçenek ise yolu ileri yönlü günceller. Şekil 5.4. bu olayı özetleyen akış diyagramıdır.



Şekil 5.4. RREP Paketi Akış Diyagramı

Daha önceden mevcut kanalı kullanmaya başlayan bir PU, yönlendirme hatasına yol açabilir. Bu nedenle CAODV, RERR mesajlarını iki sınıfa ayırır; topoloji değişiklikleri için normal RERR mesajları ve birincil kullanıcı aktivitelerini tutan PU-RERR mesajları.

Kanalda bir birincil kullanıcı aktivitesi sezildiği zaman, düğüm bu yol üzerinden tüm yönlendirmeleri geçersiz kılar ve PU-RERR paketi ile kanal i'nin uygun olmadığını komşu CU düğümlerine bildirir. Böyle bir mesaj alan düğümler bu kanalı geçersiz sayar.

CAODV, spektrum verimliliğini üst düzeye çıkarmak için, tüm uygun kanallardan faydalanır. Bu amaç için her gönderici hedef için en kısa yolları bulur, sonra bu yollar içinden rastgele bir yolu seçer, ortamı dinler ve sonuca göre paketlerini yollar.

Böylece CAODV spektrumun çeşitliliğinden faydalanır ve en kısa yolları da aktif tutar.

Şekil 5.1.' de gösterilen kavramsal ağ modeli çalıştırıldığında ve sistem test edildiğinde OMNET++ simülasyon programında toparlanan bazı istatistiksel veriler aşağıda grafikleri ile birlikte açıklanmıştır.

5.2. Simülasyon Sonuçları

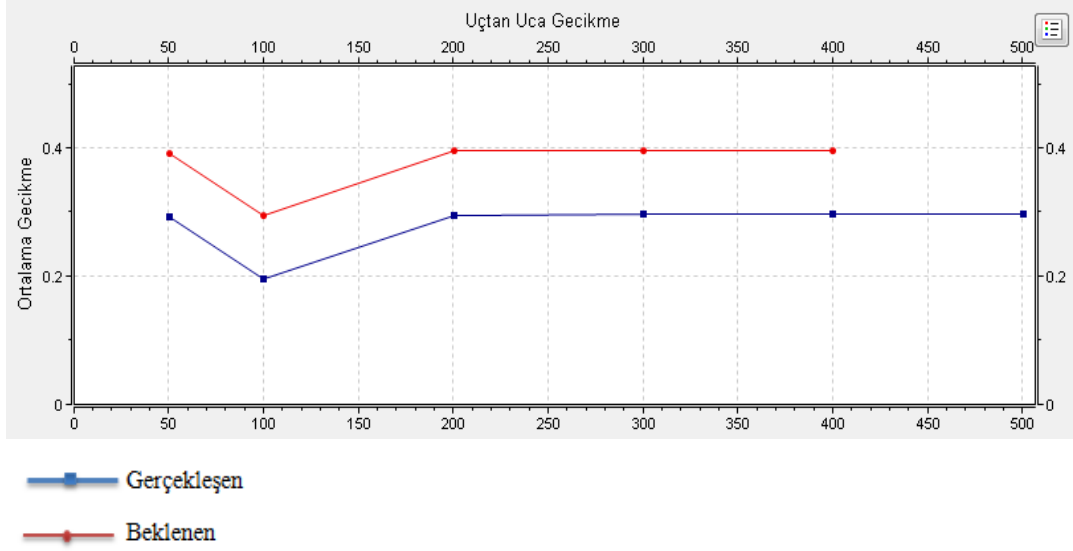
5.2.1.Uçtan Uca Gecikme (End-to-End Delay)

Uçtan uca gecikme (end-to-end delay), kaynak ile hedef arasında bulunan yönlendiricilerin sayısı ile ilişkilidir. Paketlerin kaynak düğümde ilk bitinin üretilip, alıcı düğüme son bitinin ulaştığı zamana dek geçen sürece uçtan uca gecikme denir.

Uçtan uca gecikme, veri paketinin alındığı zamandan, kaynak tarafından üretildiği zamanın çıkarılması ile elde edilir. Bu süre içinde gecikme olmasının sebebi paketin kuyrukta bekletilmesi, iletim ve yayılım gecikmeleridir. Uçtan uca gecikme servis kalitesi için çok önemlidir ve kullanılan protokolün güvenliğini görmemizi sağlar. Acil veriler en düşük uçtan-uca gecikme ile gönderilir. Diğer veriler biraz daha yüksek uçtan-uca gecikme ile gönderilir.

3 adet birincil kullanıcı, 15 adet ikincil kullanıcının bulunduğu, 18 düğümlü senaryo için, simülasyon boyunca ortalama uçtan uca gecikme grafiği çizdirilmiştir.

Bu senaryoda üretilen paketlerin büyüklükleri ve paketlerin üretilme frekansları sabit olması nedeni ile simülasyon süresince, uçtan-uca gecikme sonuçları belli bir değerden sonra, Şekil 5.5' de görüldüğü gibi sabit değerde ilerlemektedir. Uçtan uca gecikme, CAODV protokolü ile 0.2 ila 0.4 saniye arasında gerçekleşmiştir. Hesaplanan değere göre daha uygun değerler elde edildiği görülebilmektedir.



Şekil 5.5. Uçtan Uca Gecikme Grafiği

Duraklama süresinin uzaması demek, düğümlerin daha az hareket halinde olması demektir. Düğümler daha az hareket ettiği zaman grafiğin daha kararlı olduğu görülebilmektedir. Yönlendirmede birincil kullanıcıların da etkisi olduğundan CAODV protokolü kullanılan senaryolarda yollar daha az kopmaktadır. Yolun kopması, ikincil kullanıcının yeni yol bulma sürecini artıracığından, yolun daha az kopmuş olması, uçtan uca ortalama gecikmenin daha az olmasını sağlamıştır.

Paketlerin gecikme değerlerinin, mümkün olduğunca sabit olmuş olması, ağ üzerindeki trafiğin kalitesini bize göstermektedir. Simülasyonun ilk zamanlarında bir dalgalanma olmuş, daha sonra ise sabit devam etmiştir. Ağın kaliteli olmasının gözlemlenmesi ile böyle bir simülasyonun, tıkanıklıkların yaşandığı bir kampüs ağında bulunan bir bölüm başkanlığının bulunduğu katta yer alan erişim noktalarının (Access point) konumundan ve kullanıcı sayısının zamana göre değişkenliğinden esinlenilerek, bir kavramsal radyo ağı ile yer değiştirilmesi durumunda, oluşan iletişimsel problemleri azaltacağı düşünülmüştür.

5.2.2. Paket Dağıtım Oranı (Packet Delivery Ratio-PDR)

Gönderilmiş olan veri bitlerinin hangi oranda alıcıya iletildiğini gösteren orana paket dağıtım oranı denir. Alıcıya gönderilmiş olan, 100 adet paketten 80 adet paket ulaştırıldıysa, bu durumda paket dağıtım oranı %80'dir.

Şekil 5.6' da, 3 birincil kullanıcı, 15 ikincil kullanıcının bulunduğu senaryo için simülasyon boyunca gerçekleşen paket alım oranı gösterilmektedir. CAODV protokolünün kullanıldığı bu senaryo için hesaplanan ve simülasyon sonucunda gerçekleşen paket dağıtım oranı, grafikte verilmiştir. Bu grafikte de görüldüğü gibi tüm hoplarda, paket dağıtım oranı, %50 ila %100 arasında değişmektedir. Beklenen eğer ile gerçekleşen değer birbirlerine yakın değerlerde elde edilmiştir.



Şekil 5.6. PDR Grafiği

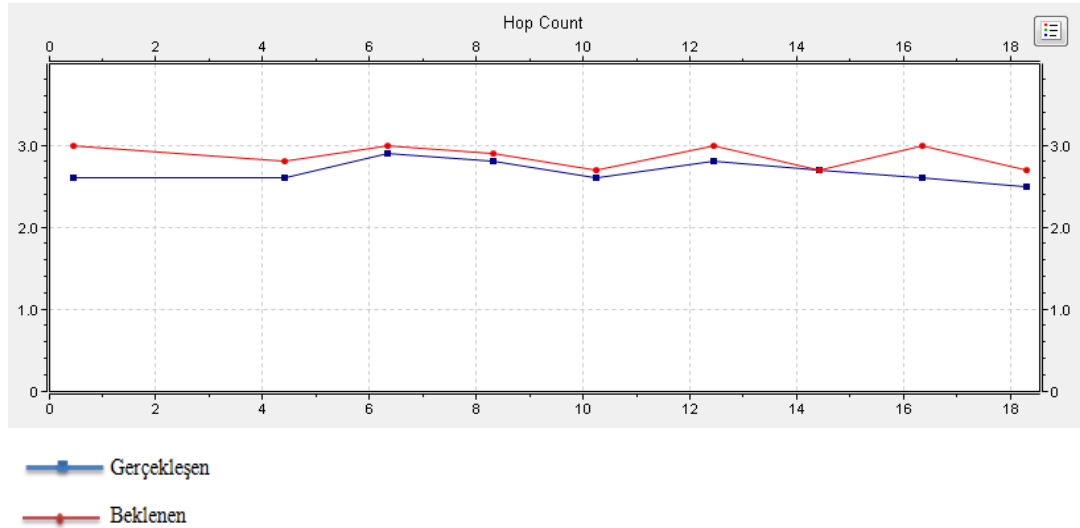
Paket kayıplarının ölçülen değeri ve iletilen paket sayısının ortalama bir değerden daha yüksek olduğu için ölçeklenebilirliği daha mümkün kılmaktadır. Bu durum ölçeklenebilirliği mümkün kılması bakımından, tıkanıklıkların yaşandığı bir kampüs ağında bulunan bir bölüm başkanlığının bulunduğu katta yer alan erişim noktalarının (Access point) konumundan ve kullanıcı sayısının zamana göre değişkenliğinden

esinlenilerek, bir kavramsal radyo ağı ile yer değiştirilmesi durumunda, dinamikliğin oldukça artmasını sağlayacak ve yaralı olacaktır.

5.2.3.Hop Sayısı(Hop Count)

İletişim esnasında gönderilen paketler, hedefe giderken yönlendiriciler üzerinden geçerek ilerler. Gönderilen adrese giden bu yolda geçilen her yönlendirici bir hop oluşturur. Veri paketinin kaç yönlendiriciden geçtiği hop sayısı ile hesaplanır. Özetle hop sayısı, iletişim esnasında bir veri paketinin geçmiş olduğu ortalama düğüm sayısını vermektedir.

Hop sayısı arttıkça, paket iletim süresi de artar. Böylece uçtan uca ortalama gecikme artacak ve paket alım oranı da düşecektir. Hop sayısının mümkün olduğunca az olabilmemesini sağlamak protokole ve sistemin bilişselliğine düşen en önemli görevlerden biridir. Sistem hop sayısının olabildiğince az olmasını sağlamak için uyarlanabilir ayırık parçacık sürü optimizasyon algoritması yardımı ile en kısa yolu belirleyebilmektedir.



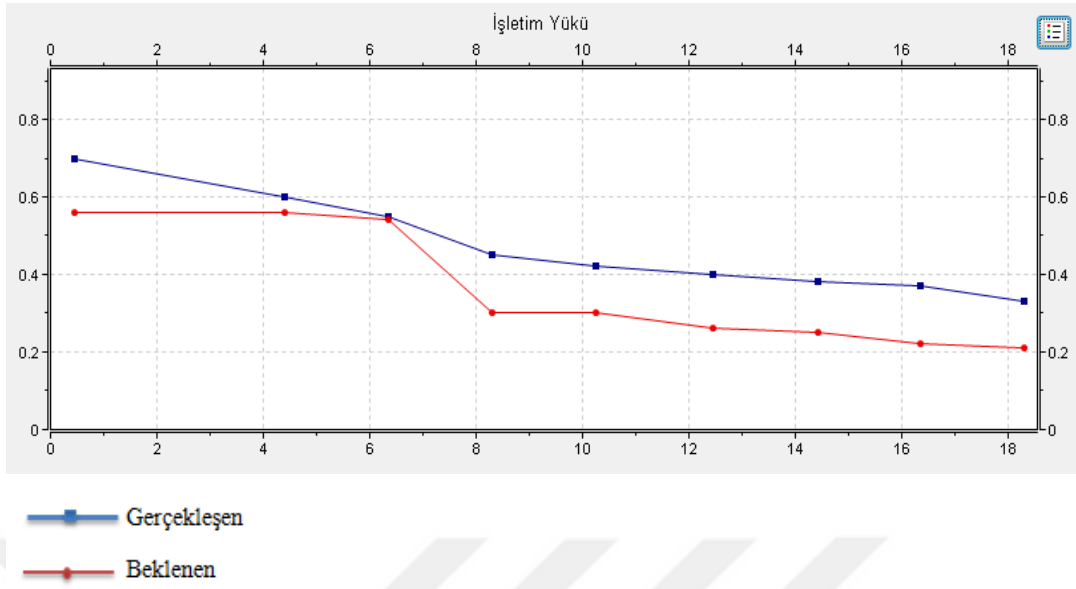
Şekil 5.7. Hop Sayısı Grafiği

Şekil 5.7., CAODV protokolünün uygulandığı, toplamda 18 adet düğümü olan (3 adet PU, 15 adet CU) senaryoda, her bir düğüm için 2 ila 3 civarında bir hop sayısı oluştuğunu göstermektedir. Geçilen ortalama düğüm sayısının böyle düşük olması, tıkanıklıkların yaşandığı bir kampüs ağında bulunan bir bölüm başkanlığının bulunduğu katta yer alan erişim noktalarının (Access point) konumundan ve kullanıcı sayısının zamana göre değişkenliğinden esinlenilerek, bir kavramsal radyo ağı ile yer değiştirilmesi durumunda, hız ve zaman performans kriterlerini olumlu yönde gerçekleştirmesini sağlayacak olması bakımından önemlidir.

5.2.4. İşletim Yüğü (Ek yük-Overhead)

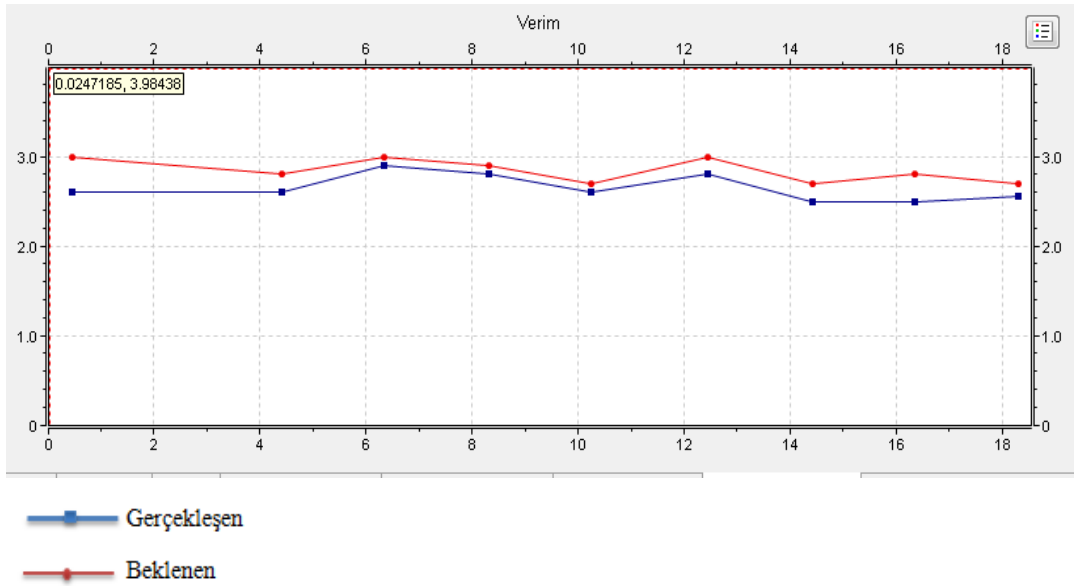
İşletim yüğü (Ek yük-overhead), bir veriyi iletmek için kullanılan protokolün kendi içinde gerçekleştirdiği işlemlerden ve kendi içerisinde yapmış olduğu haberleşmelerden dolayı oluşan fazladan yüğü gösterir. Veri iletmek için ayrılan kanal veya kaynakların bir kısmının, protokol ile alakalı bilgileri taşıması, ek yük (overhead) olarak adlandırılmaktadır. CAODV protokolüne bağlantılı olarak yönlendirme yüğü değişmektedir. Çünkü bu protokol, sadece ilk gelen RREQ ve RREP paketlerini değerlendirmekle kalmaz, tüm istek ve cevapları yeniden inceleyip, yönlendirme paketlerini en kısa yoldan iletmek için çalışır.

Bu çalışmada kullanılan protokol olan CAODV protokolü işlemleri esnasında, RREQ yayınlayarak RREP beklemesi gibi kendine özgü çalışmalarının neden olduğu ek yük, şekil 5.8' de gösterilmiştir. Yönlendirme yüğü simülasyon boyunca olabildiğince az elde edilmiştir. Sisteme yüklenen ek yük, 0.3 ila 0.8 aralığındadır ve bu durum CAODV protokolünün sadece ilk gelen RREQ ve RREP paketlerini değerlendirmeyip, tüm istek ve cevapları yeniden inceleyip, yönlendirme paketlerini en kısa yoldan iletmek için çalışmasından kaynaklı bir yüküdür. Ek yükün az olması, tıkanıklıkların yaşandığı bir kampüs ağında bulunan bir bölüm başkanlığının bulunduğu katta yer alan erişim noktalarının (Access point) konumundan ve kullanıcı sayısının zamana göre değişkenliğinden esinlenilerek, bir kavramsal radyo ağı ile yer değiştirilmesi durumunda, sistemin performansına olumsuz etkisinin az olacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 5.8. İşletim Yüğü Grafiğı

5.2.5. Verim (Throughput)



Şekil 5.9. Verim (Throughput) Grafiğı

İki host arasında bir dosya transferi yapılıyorsa, verim (throughput), herhangi bir anda hedef düğümün dosyayı alma oranıdır (bps). Yani bir saniyede iletimi tamamlanan işlemdir (Transaction/Second). Şekil 5.9.' da, tasarlanan ağ üzerinde bulunan düğümlerin verim grafiği verilmiştir. Her bir düğümde, saniyede 2 ila 3 paket gönderimi yapılabildiği görülmektedir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, elektromanyetik spektrumdan ve radyo frekans spektrumundan bahsedilmiş, günümüzde makineler arası iletişimin artması ile birlikte artmakta olan mevcut frekans spektrumundaki spektrum kıtlığı problemine çözüm bulmayı ve spektrum verimliliğini artırmayı hedefleyen kavramsal radyo teknolojisi incelenmiştir. Kavramsal radyonun yararları, mimarisi, tarihsel süreçteki gelişimi, kavramsal radyo teknolojisi geliştirilirken karşılaşılan problemlere değinilmiştir.

Kavramsal radyo fikri, 2000'li yıllarda, Mitola ile ortaya çıktığından bu yana, bilimsel çalışmalarda ve akademik camiada yoğun ilgi görmüş ve üzerine çalışılan bir konu olmuştur. Kavramsal radyolarda dinamik spektrum yönetiminin en çok tartışılan ve araştırılan konularının başında spektrum sezme yöntemleri, spektrum paylaşma yöntemleri, bilişselliği sağlama yöntemleri ve spektrum el değiştirme yöntemleri gelmektedir. Bu tez çalışmasında, tüm bu yöntemler için, literatürde önerilen birçok yöntem üstün ve zayıf yönleriyle ele alınmıştır. Ele alınan yöntemler, tek tek açıklanmış ve bir test örneği oluşturularak benzetimi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, lisanslı ancak verimli kullanılmayan spektrum boşluklarından yararlanarak, ikincil kullanıcıların iletişim isteklerini gerçekleştirebildiği bir ağ tasarlanmıştır. Tasarımda OMNET++ simülasyon programı kullanılmış ve bu platform üzerinde kurulan ağ simülasyonunda birincil ve ikincil kullanıcıların iletişimi sağlanmıştır. Akıllı iletişimin gerçekleştirilebilmesi için tezde kullanılan kütüphanelerin içeriğinde kullanılan algoritma uyarlanabilir ayırık parçacık sürü optimizasyon algoritmasıdır. Bu optimizasyon algoritması alt yapıda kullanılarak, hedefe giden en kısa yol bulunmaya çalışılmış ve geçilen ortalama hop sayısı en aza indirilerek performans artırılması amaçlanmıştır. Bu algoritmanın adımları da tez kapsamında açıklanmıştır.

Bilişsel ağlarda, düğümlerin hareketli olması ve senaryonun topolojisinin değişkenliği, yönlendirme ve spektrum sezme işlemini, bu ağların en çok üzerinde durulması gereken konusu haline getirmiştir.

Bu tez çalışmasında, protokolün yönlendirme üzerine etkili olacağı düşünüldüğü için, bilişsel ağlar için geliştirilmiş olan CAODV protokolü ile tasarım gerçekleştirilmiştir.

Simülasyonlar platform üzerinde gerçekleştirilerek, ağın etkinliğini ve güvenliğini gözlemlemek amacı ile ağ değerlendirmelerinde en çok başvurulan, paket alım oranı, uçtan uca gecikme, hop sayısı, verim, işletim yükü kriterleri kullanılarak, geliştirilen ağ tasarımına dair sonuçlar grafikler ile gösterilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre paketlerin CAODV protokolü ile yönlendirilmesi ile performansın etkileri ölçülmüştür. Burada yolun kopması durumu minimuma indirilmeye çalışıldığı için paket kaybı az olup, paket alım oranı verimli bir şekilde ölçülmüştür. Yol değişiminin aldığı zaman az olduğu için, uçtan uca gecikme de az olmuş ve grafik üzerinde gözlemlenmiştir. Adım sayısı da ortalama 2-3 aralığında elde edilmiş ve paketlerin çok uzun yollardan gelmediği, mümkün olduğunca yolun optimize edilerek sağlıklı bir iletişim gerçekleştirildiği gösterilmiştir.

Sonuçlar ışığında, tıkanıklıkların yaşandığı bir kampüs ağında bulunan bir bölüm başkanlığının bulunduğu katta yer alan erişim noktalarının (Access point) konumundan ve kullanıcı sayısının zamana göre değişkenliğinden esinlenilerek, bir kavramsal radyo ağı ile yer değiştirilmesi durumunda, sistemin performansın mevcut ağdan daha iyi olacağı görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda operatörlerin kanal özellikleri farklılaştırılarak ve algoritma üzerinde iyileştirmeler yapılarak, yeni ve daha dinamik bir algoritma ile kanal seçme yöntemi geliştirilebilir. Amaç sadece kanalı optimize etmek ve iletişim performansını artırmak yerine, ikincil kullanıcılar arasında adillik sağlanabilmesi ve böylece herhangi bir bilişsel kullanıcının sürekli bekler pozisyonunda olmasının önüne geçilebilecek bir sistem tasarlanabilmesidir.

Ayrıca, ağ daha da genişletilerek, uygulanması oldukça zor olan kavramsal radyo teknolojisinin, daha geniş alanlarda da dinamik bir şekilde çalıştırılabilmesi ve

iletişimin veriminin artırılması sağlanabilir. Böylece geleceğin iletişim teknolojisi olması beklenen kavramsal radyo teknolojisine yeni katkılar sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Haykin, S., Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications, Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 23(2), 201–220, 2005.
- [2] Akyildiz, I.F., Lee, W.-Y., Vuran, M. C., Mohanty, S., NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey, Computer Networks, 50, 2127-2159, 2006.
- [3] Akyildiz I. F., Lee W. Y., Chowdhury K. R., Spectrum Management in Cognitive Radio Ad Hoc Networks, IEEE Network, 23(4), 6–12, 2009.
- [4] Larsson, E. ve Skoglund, M., Cognitive radio in a frequency-planned environment: some basic limits. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 7, no. 12, 4800–4806, 2008.
- [5] Cakir A. C., Yigit H., Channel Effect on Perfomance of Energy Based Spectrum Sensing in MIMO Cognitive Radio, IEEE 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference, Malatya, Türkiye, 16-19 May 2015.
- [6] Hossain, E., Niyato D. ve Han Z., Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks, Cambridge University Press, 2009.
- [7] Matinmikko, M., Mustonen, M., Sarvanko, H., Hoyhtya, M., Hekkala, A., Mammela, A., Katz, M. ve Kiviranta, M., A motivating overview of cognitive radio: Foundations, regulatory issues and key concepts. in Proc. of the First International Workshop on Cognitive Radio and Advanced Spectrum Management, 1-5, 2008.

- [8] Mitola, J., Maguire Gerald Q., Cognitive radio: Making Software Radios More Personal, IEEE Personal Communications, vol:6, issue:4, ss:13-18, 1999.
- [9] Mitola J., Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture For Software Defined Radio, Doktora Tezi, Royal Institute of Technology, Stockholm, İsveç, 2000.
- [10] Tragos, E. Z., Zeadally, S., Fragkiadakis and A. G. and Siris, V. A., Spectrum Assignment in Cognitive Radio Networks: A Comprehensive Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 3, July, pp. 1108-1135, 2013.
- [11] Ko, G., Franklin, A. A., You, S. J., Pak, J. S., Song, M. S. and Kim C. J., Channel Management in IEEE 802.22 WRAN Systems, IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 9, September, pp. 88-94.
- [12] Farhda, R., Abji, N., Sheikh, O., Leon-Garcia, A Market-based resource management for cognitive radios using machine learning, Global Telecommunications Conference, GLOBECOM'07 IEEE, 4630-4635, November, 2007.
- [13] Krenik, W., Batra, A., Cognitive Radio Techniques for Wide Area Networks, Proceedings of the 42nd annual Design Automation Conference, Haziran 2005, California-USA, s.409-412, 2000.
- [14] Yucek, T., Arslan, H., A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 1, 2009
- [15] Baldo, N., Zorzi, M., Learning and Adaptation in Cognitive Radios using Neural Networks, 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2008), pp. 998-1003, January 2008.

- [16] Kaniezhil, R., Chandrasekar, C., An Efficient Spectrum Utilization via Cognitive Radio using Fuzzy Logic System for Heterogeneous Wireless Networks, IEEE International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology, Tamilnadu-Hindistan, 300, 2012.
- [17] Rondeau, T., Le, B., Rieser, C., Bostian, C., Cognitive Radios With Genetic Algorithms: Intelligent Control of Software Defined Radios, Proceeding of the SDR 04 Technical Conference and Product Exposition, 2004
- [18] Zhao, J., Guan, X., LI, X., Power Allocation Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm in Cognitive Radio Networks, Chinese Journal of Electronics Vol.22, No.1, Jan. 2013
- [19] He, Q., Zhang, P., Dynamic Channel Assignment using Ant Colony Optimization for Cognitive Radio Networks, IEEE 2012.
- [20] Cheng, X., Jiang, M., Cognitive Radio Spectrum Assignment Based on Artificial Bee Colony Algorithm, IEEE 2011.
- [21] Shirazi, S. F., Shirazi, S. H., Shah S. M., Shahid M.K., Hybrid Spectrum Sensing Algorithm for Cognitive Radio Network, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 45– No.17, May 2012
- [22] Gamit J. S., Trapasiya S. D., Cognitive Radio Energy Based Spectrum Sensing using MIMO, International Conference on Communication and Signal Processing, Melmaruvathur, India, 3-5 April 2013.
- [23] Reed, J. H., Bostian, C. W., Understanding the issues in Software Defined Cognitive Radio.ppt, Virginia Tech Bradley Dept. of Electrical and Computer Engineering.
- [24] Sahai, A., Hoven, N., Tandra, R., Some fundamental limits in cognitive radio, Allerton Conf. on Commun., Control and Computing, October 2004.

- [25] Chen, H-S., Gao, W. ve Daut, D.G., Spectrum sensing using cyclostationary properties and application to IEEE 802.22 WRAN, In Proc. of IEEE GLOBECOM '07, 3133–3138, 2007.
- [26] Sato, T., ve Umehira, M., A New Spectrum Sensing Scheme Using Overlap FFT Filter-bank for Dynamic Spectrum Access. 6th International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented, Wireless Networks and Communications (CROWNCOM), 6-10, 2011.
- [27] Quan, Z., Cui, S., Poor, H. V. ve Sayed, A., Collaborative wideband sensing for cognitive radios. IEEE Signal Processing Magazine, vol. 25, no. 6, 60-73, 2008.
- [28] Pandit, S. & Singh, G., An overview of spectrum sharing techniques in cognitive radio communication system, Wireless Networks, 1-22, 2015.
- [29] Wang, B., & Liu, K.-J.-R., Advances in cognitive radio networks: A survey. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 5(1), 5–23, 2011.
- [30] Zhang, G., Yang, K., Song, J., & Li, Y. , Fair and efficient spectrum splitting for unlicensed secondary users in cooperative cognitive radio networks, Wireless Personal Communications, 71(1), 299–316, 2013.
- [31] Song, M., Xin, C., Zhao, Y., & Cheng, X., Dynamic spectrum access: From cognitive radio to network radio. IEEE Wireless Communications, 19(1), 23–29, 2012.
- [32] Srinivasa, S. & Jafar, S.-A., The throughput potential of cognitive radio: A theoretical perspective. In Proceedings of the 40th Asilomar conference on signals, systems and computers (ACSSC' 06), Pacific Grove, CA, 29 Oct.–1 Nov. 2006, pp. 221–225, 2006.

- [33] Federal Communications Commission (FCC), Spectrum Policy Task Force ET Docket no.02-135, November 2002.
- [34] Zahed, S., Awan, I. and Cullen, A., Analytical Modeling for Spectrum Handoff Decision in Cognitive Radio Networks, Simulation Modelling Practice And Theory Journal, vol. 38, November, pp. 98-114, 2013.
- [35] Lertsinsrubtavee, A., Malouch, N. and Fdida, S., 'Controlling Spectrum Handoff with A Delay Requirement in Cognitive Radio Networks', Conference Proceedings, IEEE International Conference on Computer Communications and Networks, Munich, pp. 1 –8, 2012.
- [36] Potdar, S. M. and Patil, K. P. , Efficient Spectrum Handoff in CR Network based on Mobility, QoS and Priority using Fuzzy Logic and Neural Networks, Conference Proceedings, IEEE International Conference on Contemporary Computing, Noida, pp. 53 – 58, 2013.
- [37] Kaur, P., Udin, M. and Khosla, A. , An Efficient Spectrum Mobility Management Strategy in Cognitive Radio Networks, Conference Proceedings, IEEE UK-India International Workshop on Cognitive Wireless Systems, New Delhi, pp. 1 – 6, 2011.
- [38] Wang, S., Cao, F. and Fan, Z. , Periodic Partial Soft Sensing and Spectrum Handoff in Cognitive Relay Networks, Conference Proceedings, Conference Proceedings, IEEE International Conference on Communications, Budapest, pp. 2683 – 2688, 2013.
- [39] Konishi, Y., Masuyama, H., Kasahara, S. And Takahashi, Y., Performance Analysis of Dynamic Spectrum Handoff Scheme with Variable Bandwidth Demand of Secondary Users for Cognitive Radio Networks, Wireless Networks Journal, vol. 19, no. 5, July, pp. 607- 617, 2013.

- [40] Pham, C., Tran, N. H., Do, C. T., Moon, S. And Hong, C. S., Spectrum Handoff Model based on Hidden Markov Model in Cognitive Radio Networks, Conference Proceedings, IEEE International Conference on Information Networking, Phuket, pp. 406 – 411, 2014.
- [41] Tigang, M. L. and Tong, J. L. , Spectrum Handoff Scheme for Prioritized Multimedia Services in Cognitive Radio Network with Finite Buffer, Conference Proceedings, IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Chengdu, pp. 410 – 415, 2013.
- [42] Wu, Y., Hu, F., Kumar, S., Guo, M. and Bao, K. Spectrum Handoffs with Mixed Priority Queueing Model over Cognitive Radio Networks, Conference Proceedings, IEEE Global Conference on Signal and Information Processing, Austin, TX, pp. 1194 – 1197, 2013.
- [43] Khan, S. N., Kalil, M. A., Thiel, A. M., crSimulator: A Discrete Simulation Model for Cognitive Radio Ad hoc Networks in OMNeT++, Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2013 6th Joint IFIP,2013.
- [44] Puschmann, A., S.N. Khan, Mahdi, A. H., Kalil, M. A., Thiel, A. M , An Architecture for Cognitive Radio Ad-Hoc Network Nodes, International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), s.394-398,2012.
- [45] Khan, S. N., Kalil, M. A., Thiel, A. M., Distributed Resource Map: A Database-driven Network Support Architecture for Cognitive Radio Ad hoc Networks, IV International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems 2012,s.188-194,2012.
- [46] Kennedy, J., Eberhart., R., Particle swarm optimization, In Proc. of the IEEE International Conference on Neural Networks, 1995.

- [47] Mahdi, A. H., Mohanan, J., Kalil, M. A., Thiel, A. M , Adaptive Discrete Particle Swarm Optimization for Cognitive Radios, 2nd IEEE International Workshop on Smart Communication Protocols and Algorithms ,s. 6550-6554, 2012.
- [48] Cacciapuoti,A. S., Calcagno,C., Caleffi, M., Paura, L., CAODV: Routing in Mobile Ad-hoc Cognitive Radio Networks Wireless Days (WD), 2010 IFIP 20-22 Oct. 2010.

