

**FREKANS ATLAMALI TASARSIZ AĞLARDA DAĞITIK
FREKANS TAHSİSİ VE ÖBEKLEME**

GÖKHAN KILIÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2014

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

Prof. Dr. Murat ALANYALI
Anabilim Dalı Başkanı

GÖKHAN KILIÇ tarafından hazırlanan FREKANS ATLAMALI TASARSIZ AĞLARDA DAĞITIK FREKANS TAHSİSİ VE ÖBEKLEME adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. A. Melda YÜKSEL TURGUT

Üye : Doç. Dr. Tolga GİRİCİ

Üye : Doç. Dr. A.Özgür YILMAZ

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gökhan KILIÇ

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Ekim 2014

Gökhan KILIÇ

**FREKANS ATLAMALI TASARSIZ AĞLARDA DAĞITIK
FREKANS TAHSİSİ VE ÖBEKLEME**

ÖZET

Telsiz haberleşme cihazlarının artmasıyla frekans tahsisi ve frekans tekrar kullanımı önem kazanmıştır. Frekans atlama, sivil haberleşmede girişimi kontrol etmek ve frekansı tekrar kullanmak için kullanılan bir tekniktir. Askeri ağlarda ise frekans atlama ile hem girişim azaltılabilir, hem de sinyal bozucuların sistemler üzerindeki kötü etkileri en aza indirilir. Askeri ağlarda güvenlik ve gürbüzlük çok önemlidir. En kötü durumdaki kullanıcının bile başarımlarını sağlaması beklendiğinden frekans tahsisi önem kazanmıştır. Askeri ağlar genellikle merkezi olmayan tasarsız ağlardır. Tasarsız ağlarda hiyerarşi ve ağ kontrolünü sağlamada öbekleme kullanılabilir. Öbeklemenin başlıca faydaları, girişimi azaltmak, güç ve kanal verimliliği sağlamak ve dağıtık algoritma uygulamayı mümkün kılmak olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada frekans atlamalı tasarsız ağlarda; öbekleme, frekans tahsisi problemleri ele alınmaktadır. Frekans tahsisi için global ağ bilgisine dayalı en iyiye yakın bir yöntem ve yerel bilgiye dayalı, dağıtık olarak uygulanabilir bir başka algoritma önerilmiştir. Öbekleme için tamsayı programlamaya dayalı bir optimal yöntem ve dağıtık olarak uygulanabilir bir algoritma önerilmiştir. Bu yöntemler TDMA-tabanlı bir tasarsız ağ benzetim ortamında test edilmiştir. Yapılan benzetimlerle, önerilen dağıtık-uygulanabilir algoritmaların merkezi çözümlere oldukça yakın başarımlara sahip olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz, Frekans Atlama, Frekans Tahsisi, Tasarsız Ağlar, Öbekleme.

University : TOBB University of Economics and Technology
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Electrical and Electronics Engineering
Supervisor : Assoc. Prof. Tolga GİRİCİ
Degree Awarded and Date : M.Sc. – OCTOBER 2014

Gökhan KILIÇ

**FREQUENCY ALLOCATION AND CLUSTERING IN
FREQUENCY HOPPING AD HOC NETWORKS**

ABSTRACT

With the increasing use of wireless communication devices, frequency allocation and reuse gained importance. In civilian communications systems frequency hopping is used to control interference and reuse frequency. In military communications, frequency hopping also provides immunity to signal jammers. As the security and robustness of tactical networks are extremely important, and a minimum QoS level has to be provided even in the worst case, frequency allocation becomes important. Tactical networks are usually decentralized ad hoc networks. In ad hoc networks clustering can be used to provide hierarchy and network control. Reducing interference, maintaining energy and spectral efficiency, facilitating distributed algorithms are the main uses of clustering.

In this work we address the problems of clustering and frequency reuse in frequency hopped ad hoc networks. A near optimal centralized algorithm that uses global network information is proposed for frequency allocation. A distributively implementable algorithm based on local information is also proposed. As for the clustering, a centralized solution based on integer programming is proposed. We also proposed a distributively implementable near optimal algorithm for clustering. These schemes are tested in TDMA-based computer simulation environment. Numerical results reveal that the distributively implementable algorithms are close to the centralized ones, in terms of performance.

Keywords: Wireless, Frequency Hopping, Frequency Allocation, Ad Hoc Network, Clustering.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmada emeği geçen; başta tez danıőmanım Doç. Dr. Tolga GİRİCİ'ye, bana olan inancından, desteğinden dolayı Elif KOLA'a, hayatım boyunca bana desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım tım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniuersitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, laboratuvarlarda geçen güzel günlere katkıda bulunan tım öğrenci ve çalışma arkadaşlarıma ve son olarak eğitim hayatıma sağladıkları katkı ve bu çatı altında geçirdiğim güzel günler için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniuersitesi'ne teşekkür ederim.

İyi ki varsınız!

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ	1
1.1 Telsiz Haberleşme Sistemlerinin Tarihçesi	1
1.2 Askeri Telsiz Haberleşme Sistemleri	1
1.2.1 Tasarsız Ağlar	2
1.2.2 Güvenlik	2
1.3 Motivasyon	3
1.4 Frekans Tahsis Probleminin Tarihçesi	4
1.5 Öbekleme	5
1.6 Frekans Atlama	8
1.7 Sistem Modeli	11
1.8 Tezin İçeriği ve Katkıları	11
2 ÖBEKLEME	14
2.1 Optimal Öbekleme	14
2.2 Önerilen Öbekleme	16
2.3 Öbekleme Algoritmalarının Benzetimsel Olarak Karşılaştırılması	19
2.3.1 Benzetim Parametreleri	20
2.3.2 Sonuçlar	20

3	FREKANS TAHSİSİ	23
3.1	Sistem Modeli	23
3.1.1	Global Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	27
3.1.2	Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	28
3.2	Frekans Tahsis ve Öbeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması	30
3.2.1	Benzetim Parametreleri	30
3.2.2	Sonuçlar	31
4	YÖNLENDİRME VE TRAFİK	34
4.1	Yönlendirme	34
4.2	Veri Trafiği	35
4.2.1	Uyarlanmış ZBÇE	36
4.2.2	Ses	38
4.2.3	Komuta Kontrol	39
4.2.4	Video	39
5	BENZETİM SONUÇLARI	40
5.1	Öbeklenmiş ve Frekans Tahsisi Yapılan Ağda Trafik Benzetimi . .	40
5.2	Benzetim Senaryosu	40
5.3	Benzetim Parametreleri	42
5.4	Sonuçlar	42

6 SONUÇLAR	65
6.1 Elde Edilen Kazanımlar ve Fikirler	65
6.2 Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar	66
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

1.1	Askeri Haberleşme Ağı	2
1.2	Öbek Yapısı	6
1.3	Frekans Atlama	9
2.1	Eniyileme Probleminin Çözümü Sonucu Elde Edilen Öbekleme Yapısı	16
2.2	Önerilen Öbekleme Algoritmasının Uygulandığı Ağ	19
2.3	Öbekleme Algoritmalarının 10000 deneme için Birikimli Dağılım Fonksiyonları	21
2.4	Öbekleme algoritmalarının 10000 deneme birbirlerine oranı . . .	22
3.1	Kısmi Dağlık Arazi	24
3.2	Kısmi Dağlık Arazi(izohips)	25
3.3	Örnek Topoloji	26
3.4	Öbekleme ve Frekans Tahsis Algoritmaları Sonucu Girişim Gürültü Oranları	32
3.5	Öbekleme ve Frekans Tahsis Algoritmaları Sonucu Girişim Gürültü Oranları	33
4.1	Örnek Bir Ağ Üzerinde Veri Trafığı	35
4.2	Örnek Bir Öbek Yapısı	36

TABLolarIN LİSTESİ

2.1	Benzetim Parametreleri: Öbekleme Algorİtmalarının Karşılaştırılması	20
3.1	Algoritma 2 sonucu ortaya çıkan kanal tahsisleri	29
3.2	Benzetim Parametreleri: Frekans Tahsisi ve Öbekleme Algorİtmalarının Karşılaştırılması	31
4.1	Örnek Bir Öbek Yapısı ve Öbekte Bulunan Düğümlerin Numaraları	37
4.2	Örnek Durum İçin Rotalama Bilgileri	37
4.3	Uyarlanmış ZBÇE İle Yeni Rezervasyon	38
4.4	Ses Trafik Modeli	38
4.5	Komuta Kontrol Trafik Modeli	39
4.6	Video Trafik Modeli	39
5.1	Benzetim Parametreleri: Yönlendirme ve Trafik Benzetimi	43
5.2	Deneme 1: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	45
5.3	Deneme 2: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	46
5.4	Deneme 3: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	47
5.5	Deneme 4: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	48

5.6	Deneme 5: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	49
5.7	Deneme 6: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	50
5.8	Deneme 7: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	51
5.9	Deneme 8: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	52
5.10	Deneme 9: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	53
5.11	Deneme 10: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	54
5.12	Deneme 1: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	55
5.13	Deneme 2: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	56
5.14	Deneme 3: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	57
5.15	Deneme 4: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	58
5.16	Deneme 5: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	59
5.17	Deneme 6: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	60
5.18	Deneme 7: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	61

5.19	Deneme 8: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	62
5.20	Deneme 9: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	63
5.21	Deneme 10: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları	64

Sembol Listesi

Değişken	Açıklaması	İlgili Kısım
x_{ji}	i düğümünün j öbek başına bağlanma belirteci	2
c_{ji}	i ve j düğümleri arasındaki veri hızı	
I_j	j düğümünün öbek başı olma belirteci	2
I_{max}	Olabilecek en büyük öbek sayısı	2
\mathcal{N}	Kullanıcı kümesi	2
N_{max}	Öbekte bulunabilecek en fazla üye sayısı	2
C_i	i kullanıcısının komşularına olan toplam veri hızı	2
U_i	i kullanıcısının kaç komşusundan daha iyi veri hızına sahip olduğunun sayısı	2
i^*	en yüksek U_i değerine sahip düğüm (öbek başı adayı)	2
\mathcal{N}^*	Önerilen öbekleme algoritmasında eşleşmemiş düğümlerin kümesi	2
\mathcal{CH}	Öbek başlarının kümesi	2
f_{min}	Frekans bandının alt sınırı	3
f_{max}	Frekans bandının üst sınırı	3
W	Bant genişliği	3
N_f	Frekans bandı sayısı	3
N_0W	Toplanır beyaz gauss gürültüsünün gücü	3
P	Kullanıcıların gücü	3
d_{ij}	i ve j kullanıcıları arasındaki uzaklık	3
Π	Frekans örüntü kümesi	3
Π_c	c altçevrimi için en uygun örtüntü kümesi	3
p_i^c	c altçevrimine tahsis edilen örüntü kümesi	3
$\bar{\pi}$	Bütün altçevrimlere tahsis edilen örüntü kümesi	3
$I_{n,k}$	n kullanıcısının k kanalında maruz kaldığı gürültü + girişim	3
$h_{n,m,k}$	n ve m kullanıcısı arasında k kanalındaki yol kaybı	3
β_1	Bir yan bant girişim katsayısı	3
β_2	İki yan bant girişim katsayısı	3
$N_{f,min}^c$	c altçevrimine tahsis edilecek frekans bantlarının olabilecek en az sayısı	3
$N_{f,max}^c$	c altçevrimine tahsis edilecek frekans bantlarının olabilecek en az sayısı	3
I_n	n kullanıcısının bütün kanallarda maruz kaldığı ortalama girişim	3
$F(\bar{\pi})$	Kullanıcıların ortalama girişiminin en büyüğü	3
\mathcal{K}_c	c alt çevriminin komşuları kümesi	3
$Maliyet_{ij}$	i ve j kullanıcıları arasındaki yönlendirme maliyeti	4

1. GİRİŞ

1.1 Telsiz Haberleşme Sistemlerinin Tarihçesi

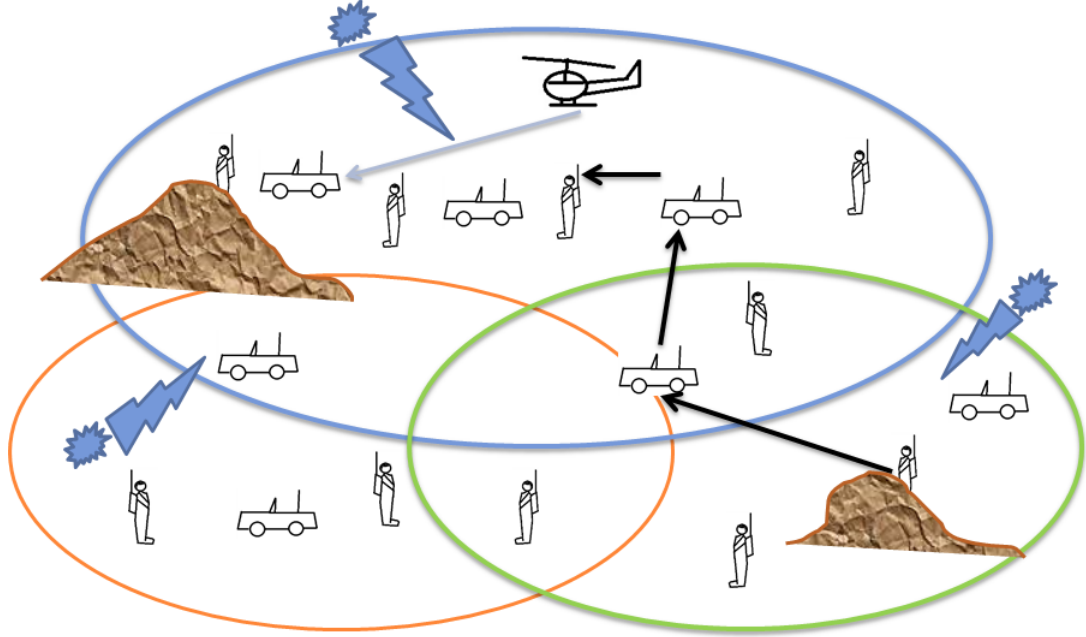
Telsiz haberleşme sistemlerinin gelişimi Maxwell'in enerjinin kablosuz iletebileceğini göstermesi ve elektromanyetik dalgaların yayılımını öngörmesi ile başlamıştır. Heinrich Rudolf Hertz radyo dalgalarının serbest uzayda yayılımının gösterimini yapmıştır. Bugün bile radyo dalgaları onun adı ile anılır. Fakat iletişim için elektromanyetik dalgaları kullanan ilk kişi italyan mühendis Gugliermo Marconi'dir. İtalyan mühendis 1901'de İngiltere Cornwall'dan, Kanada Newfoundland arasında ilk atlantik ötesi radyo sinyalinin göndermeyi başarmıştır. İnsanların bilgiye ulaşım, kullanım ve alışveriş isteği sonucu hızla gelişen haberleşme teknolojilerinde telsiz iletişim teknolojilerinde gelişmeye başlamıştır. Akıllı telefonlar, tabletler gibi teknolojik aletlerin gelişmesiyle kablosuz haberleşme sistemleri her geçen gün birer adım daha ileriye gitmektedir. Askeri haberleşme sistemleri de bu gelişimi kapsayarak gelişmek zorundadır.

1.2 Askeri Telsiz Haberleşme Sistemleri

Askeri haberleşme sistemlerini endüstriyel sistemlerden ayıran en büyük özelliği güvenlik ihtiyacı ve gürbüzlük yani en olumsuz şartlarda dahi çalışabilme ihtiyacının daha fazla olmasıdır.

Askeri haberleşme ağları, merkezi bir denetim mekanizması olmadan çalışmak zorundadırlar. Her türlü arazi şartlarında, sahaya çıktıklarında dağıtık olarak organize olabilmelidirler. Bu nedenle bu tür ağlar tasarsız ağlardır. Şekil 1.1'de örnek bir askeri haberleşme ağı görünmektedir. Birlikte farklı güç ve özelliklerde telsiz taşıyan piyade, kara araçları, hava araçları olabilir. Sistemin

etkin çalışmasını engelleyecek etmenler de mevcuttur. Şekil 1.1'de görüleceği üzere dağlık arazi, sinyal bozucuların göndermiş olduğu yüksek güçlü sinyaller sistem için problemler yaratır.



Şekil 1.1: Askeri Haberleşme Ağı

1.2.1 Tasarsız Ağlar

Tasarsız ağlar merkezi bir yönetim birimi olmadan kendi kendine organize olabilen pek çok kullanıcının birbirleri ile iletişim halinde olabildiği yapılardır. Kullanıcıların birbirleri arasında iletişim şartlarını sağlayacak kadar sinyal-girişim gürültü oranı mevcut ise haberleşme sağlanabilir. Günümüzde tasarsız ağlar üzerine akademik bir ilgi mevcuttur. Aynı zamanda askeri ağ uygulamalarını tasarsız ağ olarak modellemek hücreli ağların güvenlik zaafiyetine sebep olabileceğinden önemlidir.

1.2.2 Güvenlik

Askeri sistem denilince akıllara ilk gelen çözülmesi gereken problem güvenlik olarak tanımlanır. Askeri telsiz haberleşme sistemleri tasarsız ağlar olarak

çalıştığından merkezi bir yapı kurulması sakıncalıdır. Bununla birlikte bir merkezden yürütülen iletişim sistemleri, örneğin bugün cep telefonlarının kullanıldığı baz istasyonunun merkezde olduğu sistem, güvenlik zaafiyetleri yaratmaktadır. Olası bir arıza durumunda veya düşman tarafından gerçekleştirilen askeri bir saldırıda merkezde bulunan baz istasyonlarının zarar görmesi baz istasyonunun kontrol ettiği bölgede tüm sistemin çökmesine sebep olur ve bu durum askeri sistemlerde kabul edilemez. En kötü şartlarda bile gönderici ve alıcı çiftleri arası iletişim belirli bir başarımla sağlanmalıdır.

Askeri telsiz haberleşme sistemleri teknoloji bakımından ilerlerken, aynı zamanda düşmanların haberleşme sistemlerinin verimli çalışmasını engelleyecek sistemler üzerinde de teknolojiler geliştirilmektedir. Düşmanın haberleşmesini kesmek için geliştirilen teknolojiler arasında öne çıkan sistem sinyal bozuculardır(jammer). Askeri haberleşme sistemlerinde şifreli bilgi gönderimi yapılsa da bu şifreli bilgi gönderimi sadece trafiğin dinlenmesi ve bilginin çözülmesine karşı direnç sağlar ancak sinyal bozuculara karşı bir etkinlik sağlamaz. Frekans atlamalı sistemler ise, sinyal bozuculara karşı yüksek direnç gösterir. Frekans atlama kullanıldığında sinyalin taşıyıcı frekansı sürekli değiştiği için sinyal bozucunun bozduğu veri parçası onarılabilir veya güvenli frekanstan tekrar gönderilebilir. Frekans atlamalı sistemler ileriki bölümlerde daha detaylı açıklanacaktır.

1.3 Motivasyon

Askeri telsiz haberleşme sistemleri askeri harekatlarda büyük önem arz eder. Taktik telsizler ve taktik saha haberleşme sistemleri ülkemizde 90'lı yıllardan beri geliştirilmektedir. Bu çalışmada amaç, frekans atlamalı askeri telsiz ağlarında frekans atlama dizilerinin telsiz gruplarına tahsisi için dağıtık protokoller geliştirmektir. Tez çalışmasının gerekçesi, askeri haberleşme ağlarının kötü şartlarda bile yeterli başarımla göstermek zorunda olmasıdır. Değişken kanal durumu, gezginlik, sinyal bozucuların etkisi gibi nedenlerle ağ durumu sürekli değişmekte ve optimum başarımla için kanal tahsisi, öbekleme ve paket yönlendirme gibi fonksiyonların uyarlamalı ve dağıtık olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Askeri haberleşme ağlarının güvenliği kritik önem taşır. Bu güvenlik kavramı hem fiziksel, hem de bilgi güvenliğini içerir. Ağdaki telsizlerin bir kısmı düşman tarafından etkisiz hale getirilse bile baştan sonra haberleşme devam edebilmelidir. Bu amaçla ağın dağıtık olarak çalışması, başka bir deyişle baz istasyonu gibi merkezi denetim elemanlarının olmaması gerekir. Diğer bir güvenlik türü de bilgi güvenliğidir. Bu amaçla kullanılan bilginin şifrelenerek gönderilmesi yöntemi tek başına yeterli değildir. İletim güvenliğini tehlikeye sokan ve ortamda bulunması olası sinyal karıştırıcılar, rastgele frekans bandından çok güçlü sinyaller üreterek sinyalleri duyulmaz hale getirirler. Buna karşı en bilinen iletim güvenliği sağlayan çözüm ise frekans atlamalı haberleşmedir.

Askeri telsiz haberleşme sistemlerinin güvenlik ihtiyaçlarına dikkat ederek, bu çalışmanın motivasyonları

1. En olumsuz şartlarda bile yeterli başarımın sağlanması
2. Geliştirilen algoritmaların dağıtık olarak uygulanması.
3. Sınırlı olan frekans kaynaklarından frekans tekrar kullanımı ile maksimum verim alınması.
4. Gecikme ve Bant genişliği gereksinimlerinin yeterli servis kalitesinde sağlanması.

olarak sıralanabilir

1.4 Frekans Tahsis Probleminin Tarihçesi

Cep telefonları gibi yaygın kullanılan haberleşme sistemlerinin gelişmesi sınırlı radyo kanallarının ihtiyaç karşısında yetersiz kalmasına neden olmuştur. Frekans bantlarının devletler tarafından lisanslanmasından dolayı kullanıcılara servis sağlayan kurumların sadece belirli miktar bant genişliği kullanmalarına izin verilmiştir. Servis sağlayıcıları için girişim miktarını azaltmak aynı zamanda frekans bantlarına ödedikleri lisans ücretlerini karşılamak için desteklenebilen

kullanıcı kapasitesini artırması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu aşamadan itibaren frekans tahsis problemi üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır [1].

1.5 Öbekleme

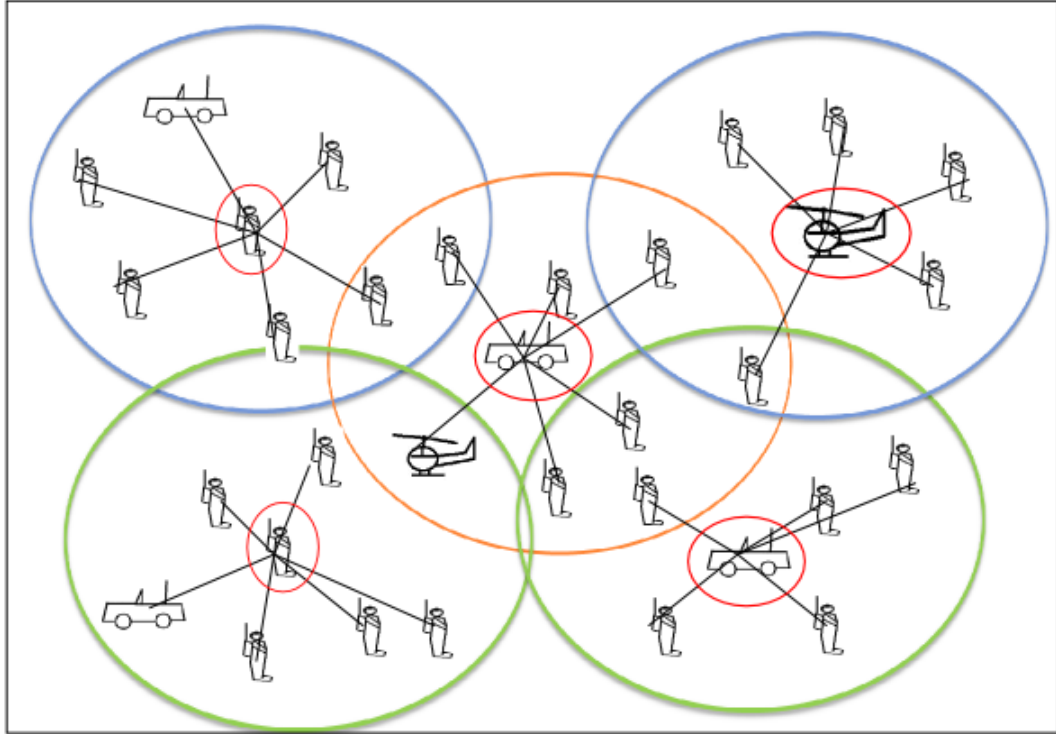
Günümüzde birbirlerine bağlı milyonlarca makinanın mevcut olduğu ve bu sayının giderek artacağı fikrine dayanarak mevcut sistemlerin, özellikle de telsiz haberleşme sistemlerinin yetersiz hale gelmesi kaçınılmaz olarak görünmektedir. Kullanılmakta olan mevcut sistemlerin çok büyük bir bölümünün merkezi bir baz istasyonu tarafından kontrol edilmesi gerek frekans bandı kullanımı, gerek makinelerin organizasyonunda makinelerin sayısı arttıka problemlere neden olacaktır. Askeri sistemlerde merkezi bir organizatör, baz istasyonu olması ve herhangi bir arıza veya saldırı gibi durumlarda tüm sistemin çökmesi anlamına geleceğinden tasarsız ağlar askeri telsiz haberleşme sistemlerinde daha da önemlidir. Merkezi bir sistemin olmamasından ve makina sayısının artmasından dolayı meydana çıkan yüksek talep ve organizasyon eksikliği öbekleme kavramı ile ortadan kaldırılabilir. Öbeklemenin başlıca avantajları řu şekilde sıralanabilir.

1. Girişimi azaltır.
2. Güç verimliliği sağlar.
3. Kanal verimliliği sağlar.
4. Dağıtık Algoritmaları mümkün kılar.

Girişim dikkate alınarak yapılan öbeklemede birbirlerine yakın olan öbeklere farklı frekansların tahsis edilmesi ile girişim önemli ölçüde azaltılabilir. Öbekler birbirlerine yakın, kanal kazancı yüksek kullanıcılar arasında yapılacağı için birbirlerine yakın kullanıcıların iletişimi daha az güç tüketimi ile veya çok daha yüksek sinyal-gürültü oranı ile sağlanabilir. Birbirlerine uzak, az girişime sebep olan öbeklere aynı frekansların tahsisi yapılarak frekans tekrar kullanımı sağlanır ve kanal verimliliği artar. Eğer sistemdeki kullanıcıların bir seviyede işlem gücü var ise dağıtık algoritmaların uygulanabilmesi sağlanır. Öbekleme kavramı ile

birlikte ortaya öbek başı kavramı çıkmıştır. Öbek başları öbek içerisindeki diğer kullanıcılardan çok farklı olmamamakta birlikte konum avantajı, batarya ömrü, anten kazancı, öbekteki diğer kullanıcılarla olan durumu gibi parametreler ile öbek içerisindeki diğer kullanıcılardan bir adım öne çıkar ve içinde bulunduğu öbeğin organizatörlüğünü yapabilir.

Bir öbek yapısı Şekil 1.2’de görünmektedir. Bu gösterimde beş öbek ve her bir öbeğin kırmızı ile gösterilen öbek başları vardır. Kullanıcılar istenilen öbekteleme durumuna göre öbekteleme işlemini gerçekleştirir ve kendilerine en yakın öbek başı olarak atanmış kullanıcıya bağlanırlar.



Şekil 1.2: Öbek Yapısı

Öbekteleme eski metotların değişik biçimlerde uygulamasının ve endüstrinin ihtiyacına yönelik yeni yaklaşımların geliştirildiği, akademik olarak pek çok algoritmanın önerildiği bir alandır [2]. Akademik çalışmalarda öbekteleme algoritmaları için kullanılan en önemli denektaş algoritmarından biri 1967 yılında önerilen K-Means öbekteleme algoritmasıdır [3]. Bu algoritma düğümlerin konum bilgilerinden ortalama mesafeyi en düşük seviyede tutacak şekilde N düğümü tekrarlı bir algoritma ile k adet öbeğe ayırır. Öbekteleme merkezi veya dağıtık bir ortamdaki

kullanıcılar için kullanılabilir.

Kablosuz sensör ağları, merkezi bir yapı barındırmaması bakımından tasarsız ağ olarak gösterilebilecek ağlardır. Kablosuz sensör ağlarında öbikleme algoritmaları başlıca ağ yükünü dengelemek, bağlanabilirliği artırmak ve gecikmeyi azaltmak, en az öbek sayısı ile düğümleri öbikleme , ağın yaşam süresini artırmak amaçlı kullanılabilir [4].

Öbiklemenin kazandığı önemle dağıtık olarak uygulanabilen öbikleme algoritmaları da önerilmiştir. Telsiz sensör ağlarında etkin enerji kullanımı önemlidir. Sensörlerin enerjisi ve iletim maliyetleri ile öbek başı seçilerek en fazla kullanıcıyı desteklemeyi ve ağın yaşam ömrünü uzatmayı amaçlayan dağıtık olarak uygulanabilen algoritmalar önerilmiştir [5], [6], [7].

Öbikleme makinadan makinaya iletişimde de kullanılabilir. Merkezi bir kontrolün olduğu birbirlerine girişim yapan telsiz haberleşme ağlarında güç kontrolü yaparak girişim kontrolü ile bölgede öbeğin kapsama alanı artırılabilir [8].

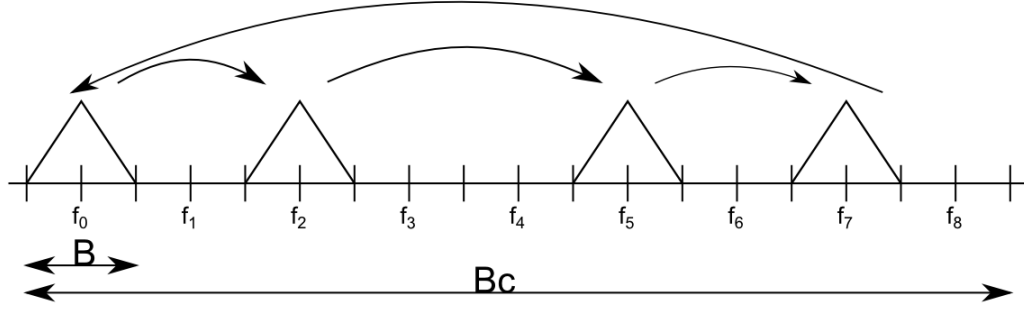
Öbikleme algoritmalarında genellikle en önce öbek başı seçimi yapılır. Seçilen öbek başlarına yakın olan düğümler öbek üyesi olur. Bu iki işlem art arda tekrar edilerek iyileştirme yapılabilir. Öbikleme algoritmalarında öbek başı seçiminde ağırlıklı öbikleme algoritmaları sık olarak kullanılır. Öbikleme hareketli tasarsız ağlarda da kullanılabilir. Hareketli tasarsız ağlarda algoritmaların çok sık olarak tekrarlanmaması öbek yapılarının kararlı olarak çalışması önemli bir kriterdir yine de algoritmalar belirli zaman aralıklarıyla çalışmalı ancak bu çalışma sıklığı sistemin verimli çalışmasını engellememelidir. Kullanıcıların komşu sayıları, komşularına olan uzaklıkları , ortalama hareket hızları, pil tüketimleri gibi değerler farklı ağırlıklarla önem sırasına göre ağırlıklandırılıp kullanıma göre en düşük veya en yüksek toplam ağırlığa sahip olan düğüm öbek başı seçilir ve kendisine yakın düğümler öbek elemanı olarak tahsis edilir [9], [10]. Hareketli tasarsız ağlarda yine ağırlıklı olarak genetik algoritma kullanılarak da yapılabilir [11]. Ancak genetik algoritmanın çalışma süresi çok uzundur. Benzer şekilde hareketli tasarsız ağlarda ağırlık olarak düğümlerin hız, açı, komşularına olan uzaklık gibi parametrelerini komşuları ile paylaşarak dağıtık olarak uygulanabilen algoritmalarla öbek oluşturulabilir ve öbek yapısının kararlı

olarak kalması sağlanabilir [12]. Hareketli ağlarda bir diğer yaklaşım olarak düğümler birbirlerine mesaj göndererek aldıkları mesajlara göre hesapladıkları doppler değerlerini inceler ve öbek oluşturulur. Doppler değerlerine göre yapılan öbekleme harekete karşı daha gürbüz olur [13].

Çalışma kapsamında yapılan yayında hücrel bir sistemde toplam logaritmik veri hızını en yüksek seviyeye çıkarmayı amaçlayan merkezi olarak çalışan bir öbekleme algoritması sunulmuştur [14].

1.6 Frekans Atlama

Frekans atlama, radyo sinyallerin taşıyıcı frekanslarının hem alıcının hem vericinin bildiği rastgele bir sıralama ile hızlı bir biçimde değiştirilmesi metodudur. Yavaş frekans atlama ve hızlı frekans atlama olarak iki frekans atlama metodu mevcuttur. Yavaş frekans atlamada bir atlama süresinde birkaç sembol gönderilir, hızlı frekans atlamada ise bir sembol birden fazla atlamada gönderilir. Böylece frekans çeşitliliği sağlar ve semboller arası girişimi önler. Frekans atlama metodunun getirdiği avantajlar olsa da frekans atlama kullanılan sistemlerde frekans tahsisi için bir çözüm sağlanmaz, frekans tahsisi başka bir problemdir. Frekans atlaması GSM ve askeri uygulamalarda kullanılır. Frekans atlamanın GSM sistemleri için önemli faydaları vardır. Radyo sinyallerinde sönümleme genel olarak Rayleigh sönümlemesi olarak ifade edilir. Hareketli bir düğümde sönümlemenin çok yüksek olduğu kanal durumlarında bilgi kaybı çok büyük olabilir. Frekans atlama bu durumlarda frekans çeşitliliği sağlayarak kaybın azalmasını sağlayabilir. İkinci faydası ise girişim karşısında olur. Frekans atlama olmadan diğer sinyallerin yaptığı girişim performansı çok fazla etkilerken frekans atlamada farklı frekanslar kullanılabilirdiğinden dolayı girişim azalabilir [15]. Frekans atlama aynı zamanda semboller arası girişime karşı direnç sağlar. Her bir sembol için bir frekans atlama olacağını düşünürsek hiçbir sembol aynı frekansta gönderilmez ve semboller arası girişim ihmal edilebilecek kadar düşük olur. Frekans atlama yapısı basitçe Şekil 1.3'te görüldüğü gibidir. Taşıyıcı frekans ilk başta önce f_0 'dır daha sonra her birim atlama süresi geçtiğinde $f_2, f_5, f_7, f_0, \dots$ frekanslarında değişerek ilerler.



Şekil 1.3: Frekans Atlama

Literatürde frekans atlamalı ağlarda frekans tahsisi üzerine yayınlar mevcuttur. Sadece frekans tahsisinin görüldüğü çalışmalar bulunmaktadır. Frekans atlamalı ağlarda frekans tahsisi problemi çözümünde incelenen akademik yayınların büyük bir kısmında Benzetimsel Tavlama tekniği kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında da frekans atlamalı ağlarda frekans tahsisi yapılırken Benzetimsel Tavlama tekniğinden faydalanılmıştır. Benzetimsel Tavlama metalurjiden yola çıkılarak bulunmuş bir eniyileme tekniğidir. Ayrık değişkenli problemler için önerilir. Metalurjide bir malzeme önce ısıtılır, sonra yavaş yavaş soğutulur. Bu sırada malzeme başlangıçtakinden daha düşük enerjili(daha sağlam) bir duruma gelir. Benzetimsel tavlama da ilk önce bir çözümle başlanır daha sonra bu çözümde(bazen daha kötü başarımla sonuçlanan) ufak değişiklikler yapılır. Sıcaklık ne kadar fazlaysa kötü değişikliklerin de kabul edilme oranı o kadar fazladır. Burada amaç çözümün daha ilk başlarda yerel bir minimuma takılmasını önlemektir. Sıcaklık azaldıkça sadece iyi yöndeki değişiklikler kabul edilmeye başlanır. Sıcaklık çok yavaş azaltılırsa çözüm başarılı olur ancak çok uzun zaman alır. Burada çözüm kalitesi ile süresi arasında bir denge kurmak gerekir. Benzetimsel Tavlama kullanarak 2. nesil hücreli haberleşme sistemlerindeki zaman bölme çoklu erişim(ZBÇE) çerçevesi üzerinde ses ve veri zaman dilimlerinin nasıl yer alması gerektiğini inceleyebilir ve optimize edilebilir [16]. Frekans atlamalı ağlarda frekans tahsisi daha önceden üretilmiş örüntülerin kullanıcılara tahsis edilmesi kullanılan bir yöntemdir. GSM ağlarında frekans atlama kümelerinin üretilmesi için ve düzenlenmesi sonrasında benzetimsel tavlama algoritması yardımıyla frekans tahsisi yapılabilir [17].

Frekans atlamalı ağlar genellikle hücreli sistemler için araştırılmıştır. Hücreli

sistemlerde talebin artması frekans bantlarında yetersizliğe sebep olur ve frekans tekrar kullanımı büyük önem kazanır, frekans tekrar kullanımı uygun biçimde yapılmadığında girişim yüksek seviyelere çıkar. Frekans atlamalı ağlarda frekans tahsisi girişimi en düşük seviyede tutacak biçimde benzetimsel tavlama kullanılarak yapılabilir [18].Makineden makineye iletişimde de frekans atlamalı ağlar kullanılabilir. [19] numaralı makalede makinalar K-Means öbikleme algoritması [3] ile öbeklenerek, genetik algoritma sonucu frekans atlama kümelerinin frekans tahsisi ile girişimin azaltılabileceği gösterilmiştir.

Bluetooth teknolojisi diğer radyo sistemlerinin girişimini azaltmak için 79 farklı kanal ile frekans atlama metodu kullanır. Yakın zamanda yapılan çalışmalar ışığında IEEE 802.11x standardında kablosuz yerel ağlarda bluetooth frekans atlaması kullandığında girişimi istenilen seviyede önleyemediği gösterilmiştir. Bu problemin çözümü kanal sınıflandırılması ve uyarlamalı kontrol süreciyle önerilen uyarlamalı frekans atlama ile yapılabileceği [20] numaralı yayında gösterilmiştir.

Askeri sistemler için de frekans atlamalı ağlarda frekans tahsisi konusu akademik olarak araştırılmıştır. Sinyal bozucular askeri sahada haberleşme sistemlerinin çalışmasını bozar. Uyarlamalı frekans tahsisinde bilişsel radyo ve geliştirilen teknolojiler yardımıyla bir frekans aralığı çok kısa süre içerisinde taranarak yeni frekans atlama kümesi bir kontrol istasyonu tarafından kontrol kanalıyla düğümlere iletilir [21]. Askeri sistemlerde frekans atlamalı ağlardaki frekans tahsisi probleminin bir yerel arama problemi olarak tanımlanıp, belirli bir bit hata oranı hedefi ağ için problem çözümü yapılabilir [22]. Bu çözüm sonucunda sistemdeki en olumsuz durumdaki kullanıcı veya kullanıcıların maruz kaldığı ağırlıklı toplam girişim azaltılabilir. Askeri, senkron olarak çalışan frekans atlamalı ve alt çevrimlerin bulunduğu ağlarda frekans tahsisi için ardışık frekanslar arası belirli frekans bant boşluğu, aynı fiziksel ortamda bulunan çevrimlere veya komşu çevrimlere aynı veya bitişik frekans bandı tahsisi, frekans bandının en az belirli bir oranda kullanılması gibi kısıtlar tanımlanarak ve benzetimsel tavlama tekniği kullanılarak frekans tahsis problemi çözülebilir [23]. Frekans atlama metodu üzerine akademik çalışmalar genelde hücreli sistemler üzerinedir. Askeri sistemler üzerine çalışmalar azdır ve bu çalışmalar hakkında detaylı bilgiye ulaşmak zordur.

Birbirleri ile aynı telsizleri kullanan dolayısıyla ortak frekans bantlarını kullanan iki farklı grup aynı sahada birbirlerine girişim yaparlar. Girişimi önlemek için bilişsel radyo kullanımıyla bu gruplar arasında girişimi en aza indirecek frekans tahsisi oyun teorisiyle yapılabilir [24].

1.7 Sistem Modeli

Kullanıcılar kısmi dağlık bir alana yayılacaktır. Birlikte ve onlara bağlı telsizlerde bir hiyerarşi vardır ve telsizler bu hiyerarşi ve coğrafi konumlarına bağlı olarak çevrimlere (alt ağlara ayrılırlar) Bazı telsizler araçlarda olabilir ve bunlar daha yüksek hızda hareket etmekte ve daha yüksek güçle iletim yapabilmektedir. Kanal modeli mesafe ve frekansa bağlı yol kaybı, konum avantajı ve gölgelemeyi içermektedir. Bir çevrime belli frekans bantları tahsis edilir ve kullanıcılar o bant kümesi üzerinde atlayarak iletim yaparlar. Ayrıca zaman da dilimlere ayrılmıştır ve belli zaman dilimlerini rezerve eden kullanıcılar o dilimlerde iletim yapar. Çevrimdeki kullanıcılar aynı dizinin farklı elemanlarından başarlarsa birbirleriyle karışmadan aynı anda iletim yapabilirler. Ayrıca uzak çevrimlerdeki kullanıcılar aynı frekans bantlarını kullanabilirler. Ancak kullanılan ağ modelinde bir öbekte aynı anda birden fazla düğüm iletim yapmayacaktır. Kaynakları iyi değerlendirmek açısından zaman ve frekans yeniden kullanımı önemlidir. Düşünülen sistem pek çok uygulamayı desteklemelidir. Bunlardan özellikle ses ve komuta kontrol kritiktir, çünkü bunların gecikmeden ulaşması gerekmektedir. Dosya ve video da bant genişliği gereksinimleri ile dikkat çekmektedir. Sayısal ses ve video iletimini istenen gecikme bant genişliği kısıtlarına uyarak ve az enerjiyle iletmek amaçlanmaktadır.

1.8 Tezin İçeriği ve Katkıları

Bu tez çalışması, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve ASELSAN A.Ş tarafından desteklenen ve yürütücülüğü tez danışmanı Doç. Dr. Tolga GİRİCİ tarafından yapılan 1538-STZ.2012-2 kodlu ” Frekans Atlamalı Ağlarda Dağıtık

Frekans Tahsisi ve Yönlendirme ” başlıklı proje ışığında yapılmıştır. Çalışma 1) Öbekleme, 2) Frekans Atlamalı Ağlarda Frekans Tahsisi, 3) Veri Trafığı ve Yönlendirme 4) Benzetimsel Çalışmalar olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısımda; Dağlık bir arazide sabit olarak bulunan N adet kullanıcının sistemdeki toplam girişimi en düşük halde tutacak şekilde öbeklenmesi problemi ele alınmıştır. Problem çözümünde dağıtık olarak uygulanabilen bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritmanın açıklaması yapılmıştır. Önerilen algoritmayı karşılaştırmak için bu problem bir en iyileme problemi olarak tanımlanmış ve çözümü yapılmıştır. Bu eniyileme algoritmasının çözümü önerilen algoritma için denek taşı olarak kullanılmıştır.

İkinci kısımda; bir önceki kısımda öbeklenmiş olan kullanıcılar için frekans tahsisinin nasıl olacağı problemi araştırılmıştır. Bu problemin çözümünde amaç sistemdeki girişimi en aza indirerek frekans tahsisi yapmaktır. Girişimi azaltmak için; 1) merkezi bir yapının olduğu varsayımı ile global bilgiye dayalı frekans tahsisi 2) dağıtık olarak uygulanabilen yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi algoritmaları önerilmiştir.

Üçüncü kısımda; daha önceki kısımlarda öbeklenen ve frekans tahsisi yapılan kullanıcıların belirli bir süre içerisinde rastgele video, komuta kontrol ve ses mesajları ürettiği varsayımıyla Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (ZBÇE) kullanan bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Kullanıcılar arasında trafiğin gözlemlenebilmesi için bir yol atama problemi araştırılmıştır ve trafik incelenmiştir.

Dördüncü kısımda; ilk üç kısımda tanımlanan öbekleme, frekans tahsisi, veri trafiği ve yönlendirme problemleri birleştirilmiş bir halde çözümü yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan farklı algoritmalar ve yöntemler birbirleri ile karşılaştırılarak incelenmiştir ve bu bölümde sunulmuştur.

Her kısımda oluşturulan problemlerin matematiksel çözümlerini yaparken en iyi çözüme yakın başarımları olan ve daha az hesaplama karmaşıklığına sahip bazı algoritmalar da önerilmiştir. Önerilen algoritmaların başarımları MATLAB ve GAMS gibi bazı yazılım tabanlı araçlar kullanılarak hesaplanmıştır.

Problemler oluşturulurken geniş çaplı literatür taraması yapılmıştır. Tez çalışma-

ları kapsamında; bir adet konferans bildirisi hazırlanmıştır. Bu çıktıının detaylı bilgileri tezin “Özgeçmiş” kısmında yer almaktadır. Bir konferans bildirisi daha hazırlanma aşamasındadır.

2. ÖBEKLEME

Yüksek kullanıcı sayısından dolayı yetersiz frekans spektrumu, geniş arazide telsizlerin güçlerinin limitli olması tasarlanmaya çalışılan ağda öbikleme yapılması gerekliliği oluşturmuştur. Bu bölümde öbikleme işlemlerinde bir denektaş oluşturmak için bir en iyileme problemi tanımlanmıştır ve çözülmüştür. Ayrıca dağıtık olarak uygulanabilecek bir algoritma önerilmiştir.

2.1 Optimal Öbikleme

Önerilecek olan algoritma için bir denektaş olması amacıyla en iyileme problemi tanımlanmıştır. Öbikleme parametresi, öbek içinde bulunan kullanıcılardan öbek başlarına olan toplam veri hızını en büyükmek olarak kabul edilmiştir. Tanımlanan en iyileme probleminde amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi belirtilebilir.

$$\max_{x,I} \left(\sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{ji} c_{ji} \right) \quad (2.1)$$

Amaç fonksiyonundaki x_{ji} ifadesi i düğümünün j düğümüne (öbek başı) bağlanma belirteci olarak kullanıldı. İkilik değişken cinsinden ifade edilen bu belirteç matrisi, i düğümü j öbek başına bağlı ise "1", bağlı değil ise "0" değerini alır. c_{ji} ifadesi i düğümünden j düğümüne olan veri hızı olarak tanımlanmıştır. I_j ifadesi ise j düğümünün öbek başı olma durum belirteci olarak tanımlanmıştır. I_j vektörü de ikilik değişken cinsindedir, j düğümü öbek başı ise "1", öbek başı değil ise "0" değerini alır.

Çözüme daha sağlıklı ve basitleştirilmiş halde ulaşabilmek için kısıtlar tanımlanmıştır. Bir düğüm sadece bir öbek başına bağlanabilir bu ifade matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\sum_{j \in \mathcal{N}} x_{ji} = 1 \quad (2.2)$$

Düğümmler sadece öbek başlarına bağlanabilir.

$$I_j \geq x_{ji}, \forall i, j \in \mathcal{N} \quad (2.3)$$

Sistemde oluşturulabilecek en fazla öbek sayısı en başta belirlenir ve öbeklerin sayısı bu değeri geçemez.

$$I_{max} \geq \sum_{j \in \mathcal{N}} I_j \quad (2.4)$$

Bir öbekte bulunabilecek en fazla kullanıcı sayısı belirlenir ve kullanıcı sayısı bu değerden fazla olamaz.

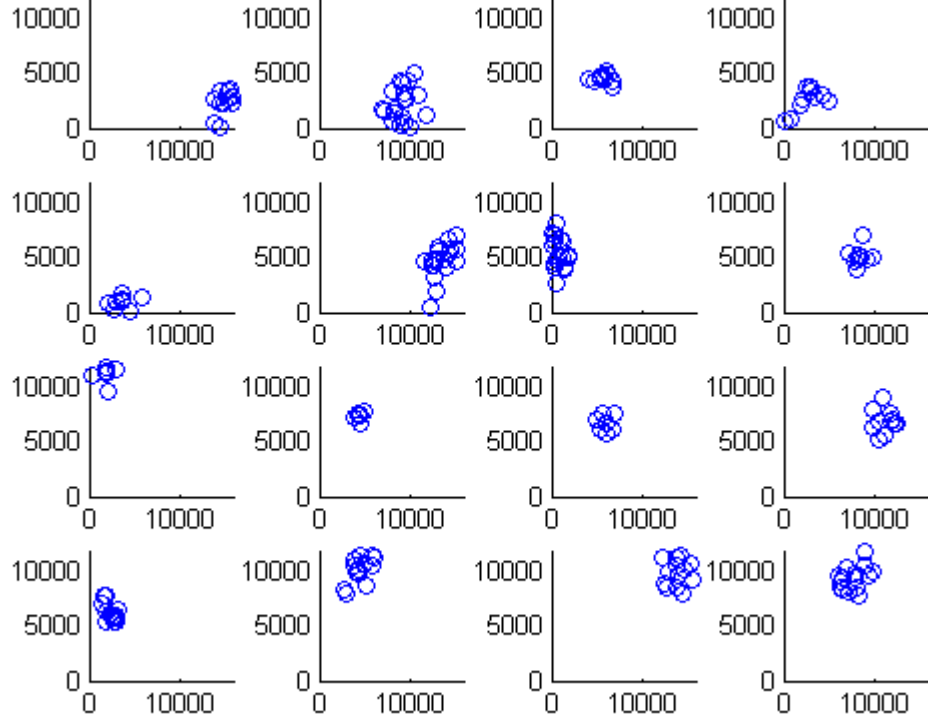
$$N_{max} \geq \sum_{i \in \mathcal{N}} x_{ji}, \forall j \quad (2.5)$$

Bütün düğümler bir öbek başına bağlanabilir ancak öbek başları sadece kendilerine bağlanır.

$$x_{jj} = 1 \quad (2.6)$$

Problemin çözümü tanımlanan amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrultusunda GAMS ve MATLAB programları yardımıyla çözdürülmüştür.

En iyi öbektme problemi aslında yukarıdaki eniyileme probleminden daha farklı ve zor bir problemdir. veri hızları girişime (c_{ij}), girişim de öbektme ve frekans tahsisine bağlıdır. Dolayısıyla öbektme problemini optimal olarak çözmek gerçekçi bir hedef değildir. Bununla beraber, yukarıdaki formülasyon makuldür, çünkü iyi bir öbektme birbirine yakın olan telsizleri öbektleyecek, bu da uzakta bulunan telsizlerin girişimini azaltacaktır. Bu optimizasyon probleminin çözümü Şekil 2.1'de görünmektedir. Şekilde de görüleceği üzere aynı coğrafi bölgede bulunan telsizler aynı öbek içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 2.1: Eniyileme Probleminin Çözümü Sonucu Elde Edilen Öbekleme Yapısı

2.2 Önerilen Öbekleme

Önerilen öbekleme algoritması tasarsız ağlarda dağıtık olarak uygulanabilen bir algoritma olarak tasarlanmıştır. Bu algorithmada kullanıcılar iletişim kurabildiği (belirli bir eşik sinyal – gürültü girişim oranına sahip) kullanıcılara olan kapasitelerini, c_{ij} hesaplar. Hesaplamalarını 2.7'deki gibi toplam olarak kaydeder ve bütün komşularına bu ifadeyi gönderir.

$$C_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} c_{ij} \quad (2.7)$$

Bütün düğümler komşularından gelen C_j değerlerine bakarak kaç komşusundan daha iyi toplam veri hızına sahip olduğunu hesaplar (2.8). Komşular arasında en iyi olan düğüm öbek başı olarak tahsis edilir (2.9). Bu durum tüm düğümler

bir öbek elemanı oluncaya kadar devam eder.

$$U_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} I(C_i > C_j) \quad (2.8)$$

$$i^* = \max(U_i) \quad (2.9)$$

İlk öbekleme yukarıda belirtildiği biçimde tamamlanır. İkinci aşamada öbeklerin daha uygun hale gelmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada öbek içinde sırasıyla 2.7, 2.8 ve 2.9 numaralı denklemler daha uygun öbek başı bulunamayınca kadar dögüsel olarak uygulanarak öbek yapısı nihai olarak oluşturulur.

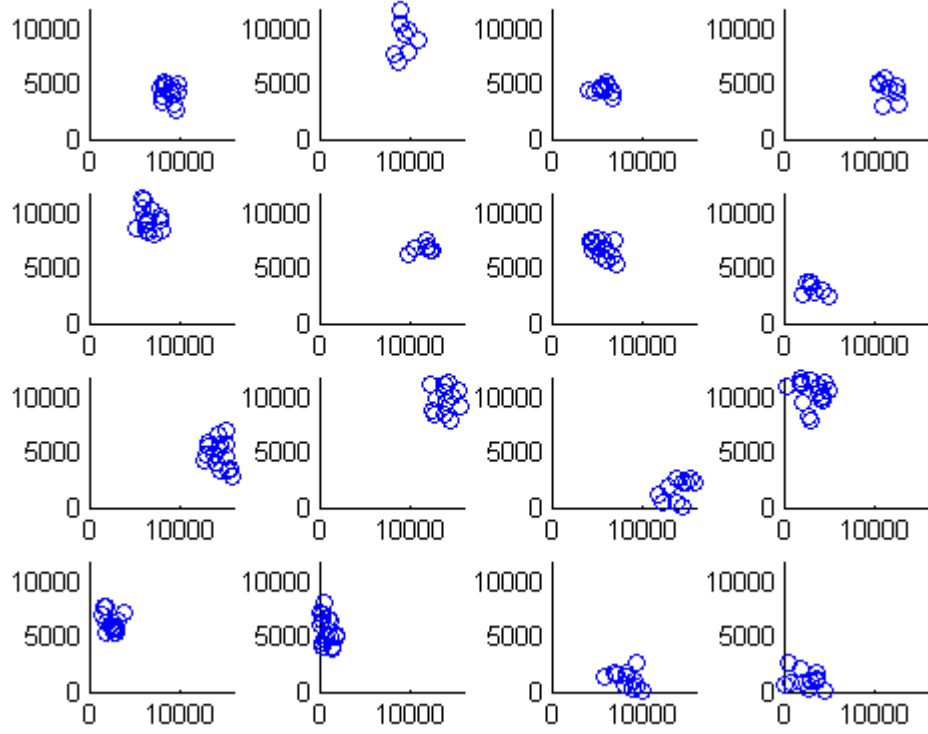
Algoritma sözde kod olarak Algoritma 1'de ifade edilmiştir. Önerilen algoritma iki aşamada koşar. Birinci aşamada(Satır 4-16) sistemdeki bütün düğümler iletişim kurabildiği diğer düğümlere olan veri hızlarını, c_{ij} hesaplar toplam biçiminde hesaplayarak hafızasında tutar(Satır-6). Kullanıcı kendisi için hesapladığı C_i sonuçları komşularıyla paylaşır(Satır-7). Bütün kullanıcılar komşularından aldıkları toplam veri hızlarını ($C_j | j \neq i$) ve kendilerinin toplam veri hızlarını (C_i) karşılaştırırlar. En yüksek toplam veri hızına ulaşan düğüm öbek başı tahsis edilir. Boşta bulunan komşu düğümlerden öbek başına en yakın olan N_{max} tanesi bu öbeğin elemanı olur. Öbek başı veya öbek elemanı olarak seçilen düğümler sistemde yokmuş gibi tüm kullanıcılar bir öbeğin içinde olana kadar işlem iteratif bir biçimde devam eder. Algoritmanın ilk kısmı böylece tamamlanmış ve ilk öbekleme yapılmış olur. İkinci aşama(Satır 17-26) düğümler bulunduğu öbekteki kullanıcılara olan toplam veri hızlarını hesaplarlar öbek içerisinde toplam veri hızı en büyük olan düğüm öbek başı seçilir (Satır 19-21). Yeni öbek başı seçiminden sonra yine kendisine en yakın N_{max} adet düğüm yeni öbek başlarına bağlanır(Satır 22-24). Öbek başlarında değişim olmadığı sürece algoritma devam eder. Algoritma tamamlandığında öbekleme işlemi gerçekleşmiş olur.

Sisteme uygulanan algoritma sonrası ortaya çıkan öbek yapıları Şekil 2.2'de görüldüğü gibidir. Şekilde de görüleceği üzere aynı coğrafi bölgede bulunan telsizler bir önceki kısımda denektaşısı olarak uygulanan eniyileme probleminin

Algoritma 1 : Önerilen Algoritma

```
1: Öbekleme yok, bütün düğümler serbest
2: Verilen  $\mathcal{N}_i, N_{max}$ 
3:  $\mathcal{N}^*_i = \mathcal{N}_i$ 
   İLK AŞAMA:
4: while  $\mathcal{N}^* \neq \emptyset$  do
5:   for  $i = 1 : N$  do
6:     Hesapla:  $C_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} c_{ij}$ 
7:      $\forall i$  komşulardan  $C_j$  değerlerini al
8:     Hesapla:  $U_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} I(C_i > C_j)$ 
9:     Bul:  $i^* = \max U_i$ 
10:     $\mathcal{CH} = \mathcal{CH} \cup i^*$ 
11:    for  $j: i^*$  düğümüne en yakın  $N_{max}$  adet düğüm do
12:       $x_{ji^*} = 1$ 
13:       $\mathcal{N}^* = \mathcal{N} \cap \{i^*\}, \mathcal{N}^* = \mathcal{N} \cap \{j\}$ 
14:    end for
15:  end for
16: end while
   İKİNCİ AŞAMA:
17: while Öbek yapısı değiştiği sürece do
18:   for  $j|x_{ji} = 1$  do
19:     Hesapla:  $C_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} c_{ij}$ 
20:     Bul:  $i^* = \max C_i$ 
21:      $\mathcal{CH} = \mathcal{CH} \cap i, \mathcal{CH} = \mathcal{CH} \cup i^*$ 
22:     for  $j: i^*$  düğümüne en yakın  $N_{max}$  adet düğüm do
23:        $x_{ji^*} = 1$ 
24:     end for
25:   end for
26: end while
```

çözümünde de olduğu gibi aynı öbek içerisinde bulunmaktadır. Öbek elemanlarının birbirine yakın elemanlardan seçilmesi öbeklemenin iyi yapıldığı şeklinde yorumlanır.



Şekil 2.2: Önerilen Öbekleme Algoritmasının Uygulandığı Ağ

2.3 Öbekleme Algoritmalarının Benzetimsel Olarak Karşılaştırılması

Bu bölümde yukarıda anlatılan en iyileme problem çözümü sonucu elde edilen ve önerilen algoritma sonuçları benzetimsel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma parametresi 2.10 numaralı denklemde gösterilen toplam veri hızıdır.

$$\left(\sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{ji} c_{ji} \right) \quad (2.10)$$

2.3.1 Benzetim Parametreleri

Benzetim Parametreleri Çizelge' 2.1'de gösterilmiştir. Benzetim yapılırken düğümler arasındaki kanal kazancı bütün frekans bantlarındaki kanal kazançlarının ortalaması olarak kullanılmıştır.

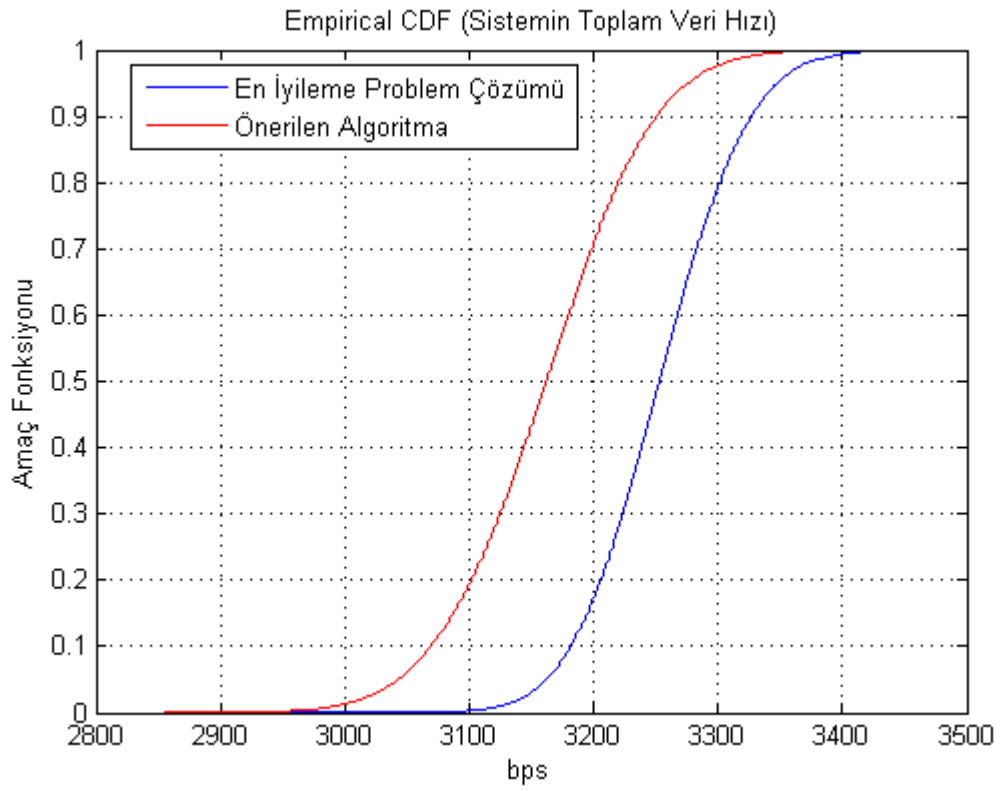
Çizelge 2.1: Benzetim Parametreleri: Öbekleme Algoritmalarının Karşılaştırılması

Parametre	Açıklama	Değer
f_{min}	En küçük frekans değeri	108 Mhz
f_{max}	En büyük frekans değeri	225 Mhz
W	Frekans bandı genişliği	1 Mhz
N_0	Gürültü güç spektral yoğunluğu	-173.5 dBm
N	Toplam telsiz sayısı	192
P	Telsiz iletim gücü	10-50 Watt
I_{max}	Öbek Sayısı	16
	Alan büyüklüğü	12x16 km
	Deneme Sayısı	10000

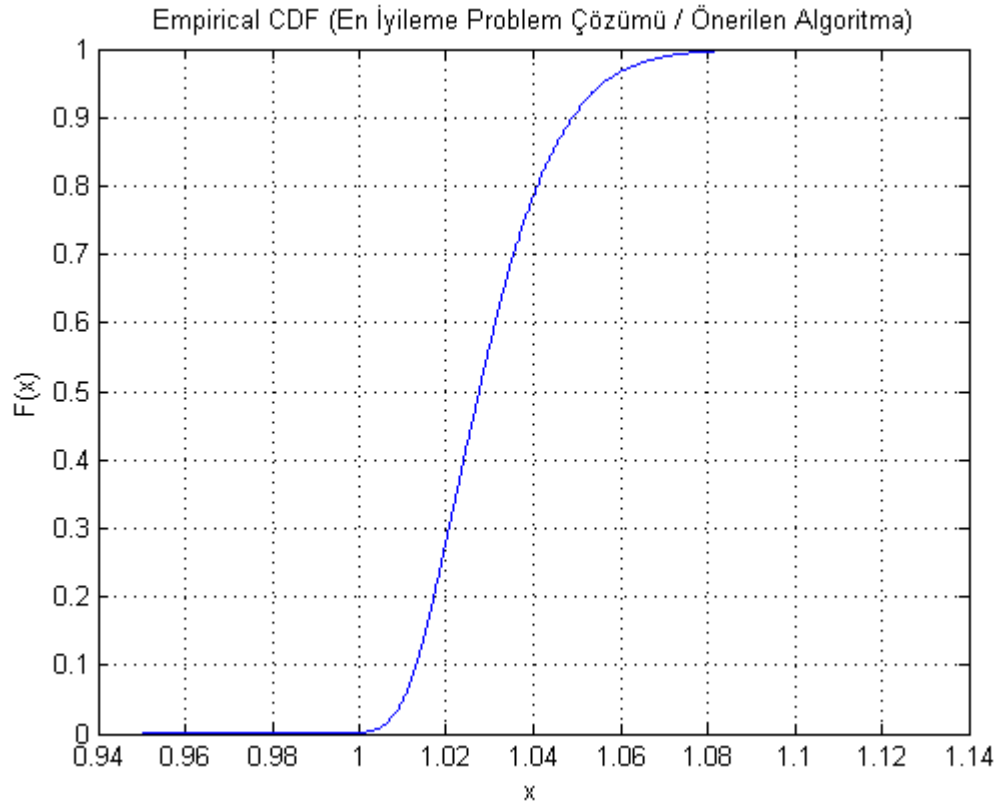
2.3.2 Sonuçlar

Algoritmalar 10000 farklı deney için çalıştırılmıştır. Sonuçlar birikimli dağılım fonksiyonu olarak Şekil2.3'de gösterilmiştir.

Şekil 2.3'den görüleceği üzere 10000 deneme için önerilen algoritma ve en iyileme probleminin çözümünden elde edilen sonuçlar arasında yaklaşık $100 \frac{bit}{saniye}$ 'lik bir fark vardır. En iyileme problem çözümü ve önerilen algoritma çözümlerinin oranı Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Şekil 2.4 incelendiğinde 10000 denemenin yarısında algoritma çözümleri arasında %3 'lük bir fark vardır. Denemelerin %90 'ında önerilen algoritma, eniyileme problem çözümüne başarımlı açısından %5'ten daha yakındır. Bu sonuçlar önerilen algoritmanın yeterli başarımlı sağladığını gösterir.



Şekil 2.3: Öbeleme Algoritmalarının 10000 deneme için Birikimli Dağılım Fonksiyonları



Şekil 2.4: Öbeleme algoritmalarının 10000 deneme birbirlerine oranı

3. FREKANS TAHSİSİ

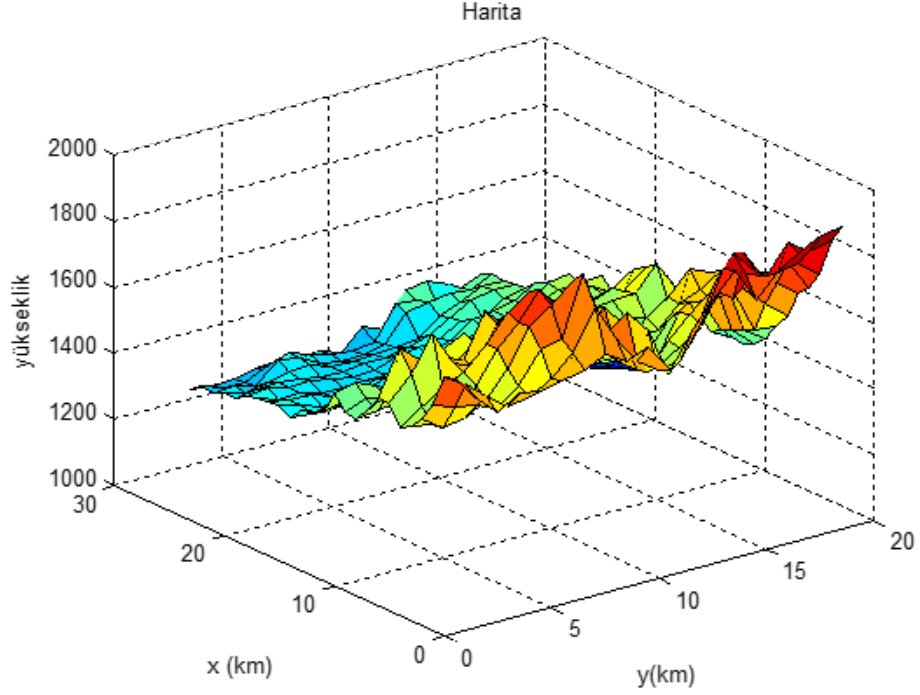
Frekans atlama methodundan girişte bahsedilmişti. Bu bölümde frekans atlama kullanılarak yapılan frekans tahsisi algoritmaları anlatılacaktır.

3.1 Sistem Modeli

N adet kullanıcı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de [25] belirtildiği gibi belirli bir kısmı dağlık arazide rastgele dağıtılmıştır. Sistemde alt ve üst olarak iki adet ana çevrim vardır.Şekil 3.3 'te görüldüğü üzere mavi çerçeve ile çevrelenenler üst çevrim , kırmızı ile çevrelenenler alt çevrimdir. Ana çevrimlerde 8'er alt çevrim mevcuttur. 1-8 arası çevrimler alt ana çevrime 9-16 arası çevrimler üst ana çevrime dahildir. Bu iki ana çevrimden 4'er çevrim 2'şerli olarak aynı konumda bulunmaktadır. Yani 5/9 , 6/10, 7/11 ve 8/12 numaralı çevrimler aynı konumda bulunmaktadır. Bu durumda aynı bölgede bulunan öbekteki kullanıcılar aynı frekans bandını kullandığında girişime neden olurlar. Frekans bandı f_{min} ve f_{max} Hz arasında W Hz bant genişliğine ayrılmıştır. Toplamda $N_f = (f_{max} - f_{min})/W$ adet frekans bandı vardır. Toplanır Beyaz Gauss gürültüsünün gücü N_0W Watt olarak ifade edilir. Sistemdeki kullanıcıların P Watt gücü vardır. Dügümler arası iletişimde bir yan bant ve iki yan banttan girişim kanal kazancını etkiler. Daha uzak yan bantlardan olan girişim çok küçük katsayılarla etkilediği için ihmal edilebilir.

Herhangi bir i ve j kullanıcıları arasındaki fHz merkezli frekans bandındaki kanal kazancı modeli 3.1 numaralı denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$h_{i,j,f} = 50 + rand[-10, 10] + rand[-10, 10] + randn \times 2 + 26 \times \log_{10}(f) + 42 \log_{10}(d_{i,j}) dB \quad (3.1)$$



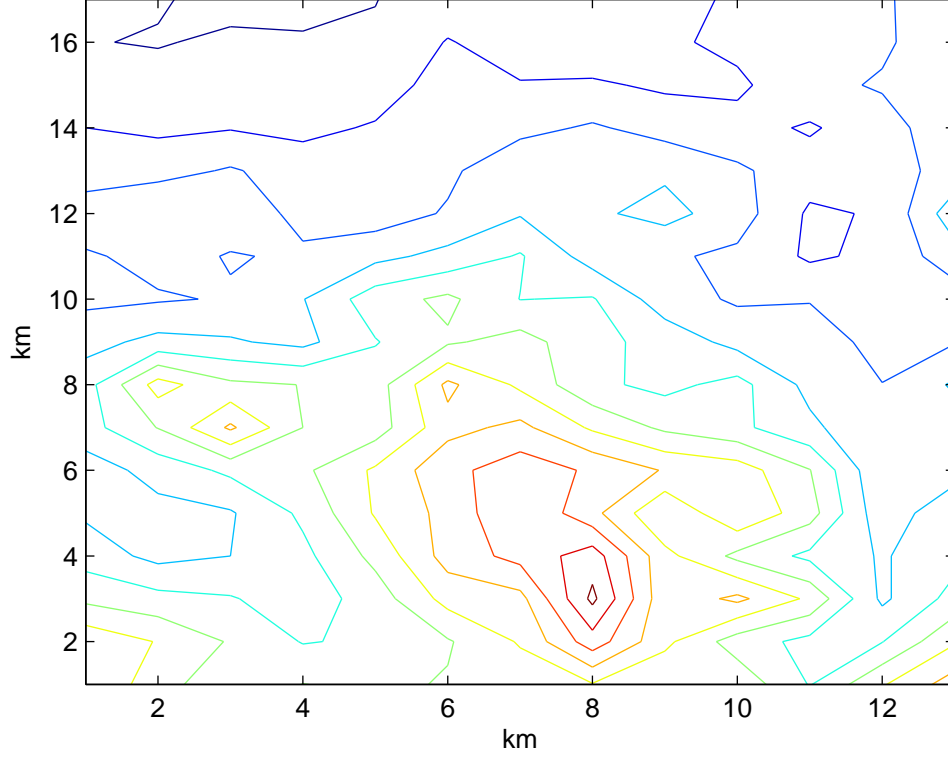
Şekil 3.1: Kısmi Dağlık Arazi

Bu yol kaybı modeli bütün kullanıcıların kısmı dağlık arazide olduğu duruma karşılık geldiğinden $\text{rand}[-10,10]$ ifadeleri verici ve alıcının konum avantajlarını ifade eder. Bu yol kaybındaki logmal gölgeleme ise $\text{rand}n \times 2$ ifadesi ile gösterilmektedir. Son olarak bu kanalı kullanan i,j kullanıcıları arasındaki uzaklık km cinsinden $d_{i,j}$ olarak gösterilir.

Bir frekans bandında yapılan iletimin sadece kendi bandına, bitişik banda ve iki yan banda girişim yaptığı varsayımı ile yan banda girişim hesaplanırken güç $10^{-2.5}$ ile, iki yan banda girişim 10^{-4} ile çarpılır daha uzak yan bantların katsayıları çok daha düşük olduğundan ihmal edilebilir.

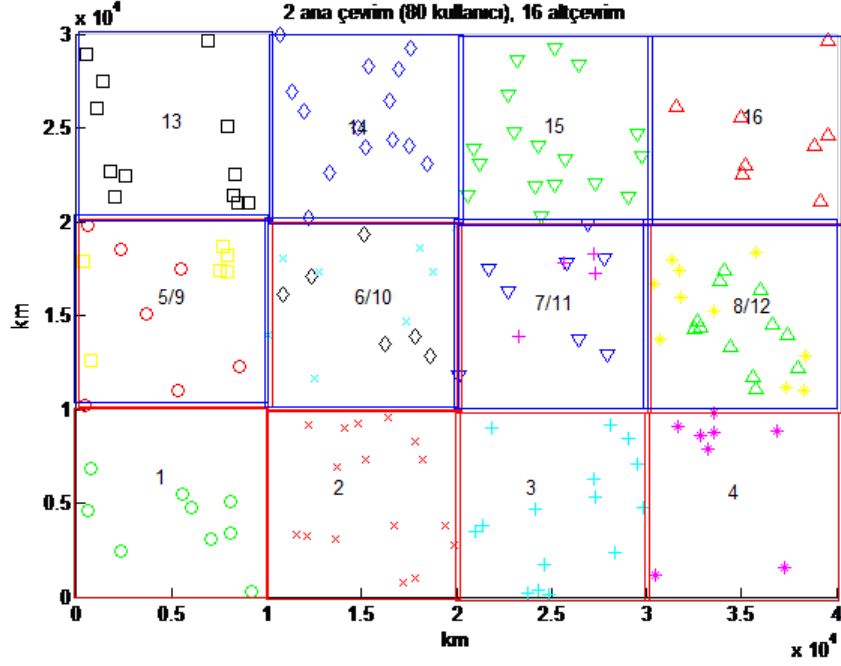
Bir c altçevrimine tahsis edilecek frekans bantlarının sayısı en az $N_{f,min}^c = N_c$, yani o altçevrimdeki kullanıcı sayısı kadardır. Bir altçevrim için girişim fazla olacağından altçevrime tahsis edilecek frekans bantları arasında bir bant kadar boşluk olmalıdır. c altçevrimine tahsis edilebilecek en fazla bant sayısı $N_{f,max}^c = \alpha N_c$ olarak tanımlanmıştır. ($\alpha > 1$)

Bir öbeğe tahsis edilecek bantlar arası en az birer bant boşluk olmalıdır. Bir



Şekil 3.2: Kısmi Dağlık Arazi(izohips)

öbge tahsisi edilecek en düşük ve en yüksek merkez frekansları arasında en fazla bir oktav olmalıdır. Bu oktav kısıtının sebebi kanal kazanıcının frekansa bağlı olduğundan çok değişkenlik göstermemesinin sağlanmasıdır. Frekans tahsis problemine yaklaşım, tahsis edilebilecek frekans örüntülerini önceden belirlenerek frekansların tek tek değil grup halinde tahsis edilmesidir. Çözüm süresi bu yaklaşım ile azalmaktadır. En kısa frekans örüntüsü $\min_n\{N_c\}$ uzunluğunda, en uzun frekans örüntüsü ise $\min\{N_f, \alpha \max_c\{N_c\}\}$ uzunluğundadır. Oluşturulan örüntü kümesini Π olarak ifade edildi. Bir örüntüdeki bant sayısı bir altçevrimin kullanıcı sayısından az ise bu örüntü o altçevrim için uygun değildir ve tahsis edilemez. c altçevrimi için uygun olan örüntü kümesi Π_c olarak ifade edildi. c altçevrimine tahsis edilen örüntü ise π_c olarak adlandırıldı. Bütün altçevrimlere tahsis edilen örüntü kümesi ise $\bar{\pi}$ olarak gösterildi. Bu durumda c alt çevrimindeki bir n kullanıcısının kullandığı k kanalında maruz kaldığı girişim + gürültü 3.2 numaralı denklemdeki gibi formülize edilebilir.



Şekil 3.3: Örnek Topoloji

$$\begin{aligned}
I_{n,k}(\bar{\pi}) = N_o W + \sum_{c' \neq c} \frac{1}{|\pi_{c'}|} & \left\{ \sum_{k \in \pi_{c'}} \sum_{n' \in \mathcal{N}_{c'}} Ph_{n',n,k} \right. \\
& + \sum_{k+1 \in \pi_{c'}} \sum_{n' \in \mathcal{N}_{c'}} \beta_1 Ph_{n',n,k} + \sum_{k-1 \in \pi_{c'}} \sum_{n' \in \mathcal{N}_{c'}} \beta_1 Ph_{n',n,k} \\
& \left. + \sum_{k+2 \in \pi_{c'}} \sum_{n' \in \mathcal{N}_{c'}} \beta_2 Ph_{n',n,k} + \sum_{k-2 \in \pi_{c'}} \sum_{n' \in \mathcal{N}_{c'}} \beta_2 Ph_{n',n,k} \right\} \quad (3.2)
\end{aligned}$$

Buradaki $|\pi_{c'}|$ değeri c' alt çevrimine tahsis edilen örüntüdeki bant sayısıdır. Görüldüğü üzere bir altçevrimin başka bir altkanalda yarattığı girişim tahsis edilen bant sayısı arttıkça azalmaktadır. Tabii ki bu durumda daha çok bantta girişim yaratılmış olmaktadır. Yan bant girişim katsayısı $\beta_1 = 10^{-2.5}$ olarak iki yan bant girişim katsayısı $\beta_2 = 10^{-4}$ alınmıştır. n kullanıcısının maruz kaldığı ortalama girişim ise bütün kullandığı bantlarda maruz kaldığı girişimlerin ortalamasıdır. Aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$I_n(\bar{\pi}) = \frac{\sum_{k \in \pi_c} I_{n,k}}{|\pi_c|} \quad (3.3)$$

Sistemdeki en yüksek girişime maruz kalan kullanıcının durumunu en iyi hale getirmek amaçlandığında, sistemdeki kullanıcıların ortalama girişimlerinin en büyüğünü minimize etmek ölçüt olarak kabul edilir. Kullanıcıların ortalama girişimlerinin maksimumunu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F(\bar{\pi}) = \max_{n \in \mathcal{N}} I_n(\bar{\pi}) \quad (3.4)$$

3.1.1 Global Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi

Aşağıdaki Algoritma 2 frekans örüntülerinin tahsisi için önerilmiştir. Bu algoritma Benzetimsel Tavlama gibi bir yöntem kullanmamakta ve yerel bir optimuma gitmektedir. Bu algoritma Satır 1’de hiçbir kullanıcıya frekans tahsis edilmemiş durumda başlar. Her seferinde bir alt çevrim ele alınarak (3.4) amaç fonksiyonunu en küçükleyen frekans örüntüsü bulunur ve tahsis edilir. Tabii ki c altçevrimine tahsis edilecek örüntü "kabul edilebilir" olanlar arasından (Π_c) seçilir. İkinci aşamada yine 1’den C ’ye kadar çevrimlere sırasıyla bakılır (8.-10. Satırlar). Her çevrim için halihazırda tahsis edilmiş olandan daha iyi bir örüntü aranır. Bulunabilirse tahsis ve girişimler güncellenir. Daha fazla ilerleme sağlanamayınca kadar bu döngü (iterasyon) tekrarlanır.

Bu benzetim sonucu alt çevrimlere hangi frekansların tahsis edildiği bilgisi Tablo 3.1’den görülebilir. Aynı coğrafi bölgeden bulunan 5/9, 6/10, 7/11, ve 8/12 çevrimlerine baktığımızda bu alt çevrim çiftlerine frekans alanında hiç örtüşmeyen örüntülerin verildiği görülmektedir. Bu da tahsisin mantıklı olduğunu gösterir. Komşu çevrimleri incelediğimizde de iki komşu çevrime aynı frekansın tahsis edilmemeye gayret edildiği görülmektedir.

Uygulanan 2 numaralı algoritma global optimumu garanti etmez, ancak oldukça iyi sonuçlar verir.

Algoritma 2 Global Bilgiye Dayalı Örüntü Tahsis Algoritması

```
1: Başlangıç  $\pi_c = \emptyset, \forall c = 1, \dots, C$ 
2: for  $c = 1 : C$  do
3:    $F(\bar{\pi})$  değerini minimize eden  $\pi_c^* \in \Pi_c$  örüntüsünü bul ve  $c$  altçevrimine tahsis et ( $\pi_c = \pi_c^*$ ).
4: end for
5:  $I_{yeni} = F(\bar{\pi})$ 
6: while  $I_{eski} \neq I_{yeni}$  do
7:    $I_{eski} = I_{yeni}$ 
8:   for  $c = 1 : C$  do
9:      $F(\bar{\pi})$  değerini minimize eden  $\pi_c^* \in \Pi_c$  örüntüsünü bul ve  $c$  altçevrimine tahsis et ( $\pi_c = \pi_c^*$ ).
10:  end for
11:   $I_{yeni} = F(\bar{\pi})$ 
12: end while
```

3.1.2 Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi

Bir önceki kısımda kullanılan algoritma iyi sonuçlar vermesine karşın merkezi bir algoritmadır. Tüm sistemin bilgisine ulaşılması zor olacağından tasarsız ağlarda uygulaması zordur. Bu bölümde yine merkezi bir kaynak tahsisi ele alınmıştır, ancak önerilen algoritmada sadece komşu çevrimlere ait girişim bilgisi kullanılır. Bunun için kullanıcılar her frekans bandında maruz kaldıkları girişimi bir şekilde hafızalarında tutup paylaşırlar. Bir örüntü tahsis edilirken kullanıcılar arasında en fazla mağdur olacak olanın mağduriyetini en aza indirmek amaçlanır.

Bir altçevrimin komşuları o çevrimle sınırı olan veya aynı coğrafi bölgede olan çevrimler olsun. c alt çevriminin komşuları \mathcal{K}_c kümesi olarak belirtilsin. Bir π frekans örüntüsünü dikkate alalım. Bu örüntüdeki frekansları kullanan komşu çevrimdeki kullanıcıların bu frekanslardaki maruz kaldıkları girişimlerin ortalaması aşağıdaki gibidir.

$$I_\pi = \frac{1}{|\pi|} \sum_{c' \in \mathcal{K}_c} \sum_{n \in \mathcal{N}_{c'}} \sum_{k \in \pi_{c'}} I_{n,k} \quad (3.5)$$

Algoritmada alt çevrimlere sırasıyla bakılır ve her alt çevrim için I_π değerini minimize eden π frekans örüntüsü tahsis edilir. Aşağıda önerdiğimiz Algoritma

Çizelge 3.1: Algoritma 2 sonucu ortaya çıkan kanal tahsisleri

Çevrim	Kullanıcı Sayısı	Frekanslar
1	9	10 12 14 16 18 20 22 24 26
2	16	13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43
3	15	2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32
4	8	1 3 5 7 9 11 13 15
5	6	17 19 21 23 25 27
6	6	1 3 5 7 9 11
7	8	30 32 34 36 38 40 42 44
8	12	19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41
9	7	2 4 6 8 10 12 14
10	8	26 28 30 32 34 36 38 40 42 44
11	4	22 24 26 28
12	10	2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
13	12	12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34
14	14	2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28
15	17	1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33
16	8	22 24 26 28 30 32 34 36

3, yukarıda önerdiğimiz Algoritma 2'ye göre daha basit bir bilgiye dayanmaktadır. Bir örüntü tahsis edilirken o çevrimdeki kullanıcılar ve o örüntüdeki frekans bantları içinde maruz kalınan en büyük girişim dikkate alınmaktadır. Bunun için komşu çevrimdeki kullanıcılardan gelen sinyal seviyeleri kullanılabilir. Bir frekans örüntüsü tahsis edilirken o örüntüdeki frekanslarda maruz kalınmış en büyük tekil kullanıcı girişimleri dikkate alınır. Algoritma 4'e benzer şekilde döngüsel olarak çevrimlerin örüntü tahsisleri iyileştirilir.

Aşağıdaki Algoritma 4 yerel bilgiye dayalı frekans örüntülerinin tahsisi için önerilmiştir. Bu algoritma da Algoritma 2 gibi Benzetimsel Tavlama gibi bir yöntem kullanmamakta ve yerel bir optimuma gitmektedir. Bu algoritma Satır 1'de hiçbir kullanıcıya frekans tahsis edilmemiş durumda başlar. Her seferinde bir alt çevrim ele alınarak kendisine tahsis edilebilecek frekans örüntülerinden (3.3)fonksiyonunu en küçükleyen frekans örüntüsü bulunur ve tahsis edilir. Tabii ki c altçevrimine tahsis edilecek örüntü "kabul edilebilir" olanlar arasından (Π_c) seçilir. İkinci aşamada yine 1'den C 'ye kadar çevrimlere sırasıyla bakılır (8.-10. Satırlar). Her çevrim için halihazırda tahsis edilmiş olandan daha iyi bir örüntü aranır. Bulunabilirse tahsis ve girişimler güncellenir. Daha fazla ilerleme

Algoritma 3 Çevrimdeki Maksimum tekil kullanıcı girişimini minimize eden açgözlü algoritma (Algoritma 2)

```

1: Başlangıç  $\pi_c = \emptyset, \forall c = 1, \dots, C$ 
2: for  $c = 1 : C$  do
3:    $\max_{n \in \mathcal{N}_c} \left\{ \max_{n' \notin \mathcal{N}_c} \left\{ \max_{k \in \pi_c} \{P_{n'} h_{n', n, k}\} \right\} \right\}$  değerini minimize eden  $\pi_c^* \in \Pi_c$ 
   örüntüsünü bul ve c altçevrimine tahsis et ( $\pi_c = \pi_c^*$ ).
4: end for
5:  $I_{yeni} = F(\bar{\pi})$ 
6: while  $I_{eski} \neq I_{yeni}$  do
7:    $I_{eski} = I_{yeni}$ 
8:   for  $c = 1 : C$  do
9:      $\max_{n \in \mathcal{N}_c} \left\{ \max_{n' \notin \mathcal{N}_c} \left\{ \max_{k \in \pi_c} \{P_{n'} h_{n', n, k}\} \right\} \right\}$  değerini minimize eden  $\pi_c^* \in \Pi_c$ 
     örüntüsünü bul ve c altçevrimine tahsis et ( $\pi_c = \pi_c^*$ ).
10:  end for
11:   $I_{yeni} = F(\bar{\pi})$ 
12: end while

```

sağlanamayınca kadar bu döngü (iterasyon) tekrarlanır.

3.2 Frekans Tahsis ve Öbeleme

Algoritmalarının Karşılaştırılması

Bu bölümde daha önce detaylıca anlatılan öbeleme ve frekans tahsisi algoritmaları uygulanan ağlar incelenmiştir. Bütün düğümler kendilerine tahsis edilen frekansta sürekli olarak iletim yaptığında kullanıcı sayısından daha az sayıda frekans bandı olduğunda birbirlerine girişim yapması kaçınılmaz olur. Uygulanan frekans tahsisi ve öbeleme algoritmaları sonuçları bu bölümde incelenmiştir.

3.2.1 Benzetim Parametreleri

Uygulanan algoritmalar karşılaştırılırken Çizelge 3.2’de görünen parametreler kullanılmıştır. 192 adet kullanıcının bulunduğu ağda tahsis edilebilecek 117 farklı kanal mevcuttur. Bu durumda en iyimser yaklaşımla 75 kanal 2 kullanıcı tarafından ortak olarak kullanılır ve girişim sadece 1 kullanıcı tarafından yapılır

Algoritma 4 Çevrimde maruz kalınan maksimum kullanıcı girişimini minimize eden algoritma (Algoritma 3)

```

1: Başlangıç  $\pi_c = \emptyset, \forall c = 1, \dots, C$ 
2: for  $c = 1 : C$  do
3:    $\max_{n \in \mathcal{N}_c} \{I_n\{\pi_c, \overline{\pi_{c' \neq c}}\}\}$  değerini minimize eden  $\pi_c^* \in \Pi_c$  örüntüsünü bul ve
   c altçevrimine tahsis et ( $\pi_c = \pi_c^*$ ).
4: end for
5:  $I_{yeni} = F(\overline{\pi})$ 
6: while  $I_{eski} \neq I_{yeni}$  do
7:    $I_{eski} = I_{yeni}$ 
8:   for  $c = 1 : C$  do
9:      $\max_{n \in \mathcal{N}_c} \{I_n\{\pi_c, \overline{\pi_{c' \neq c}}\}\}$  değerini minimize eden  $\pi_c^* \in \Pi_c$  örüntüsünü bul
     ve c altçevrimine tahsis et ( $\pi_c = \pi_c^*$ ).
10:  end for
11:   $I_{yeni} = F(\overline{\pi})$ 
12: end while

```

şekilde yorumlanabilir.

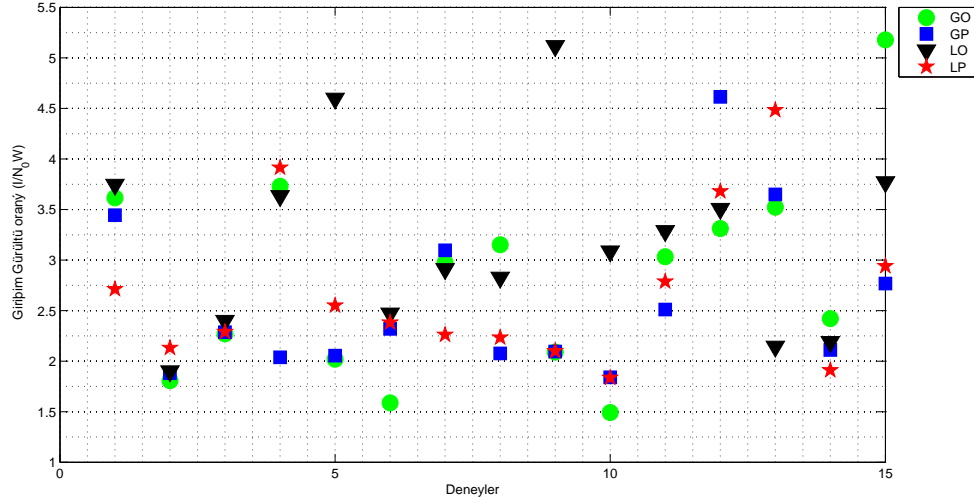
Çizelge 3.2: Benzetim Parametreleri: Frekans Tahsisi ve Öbekleme Algoritmalarının Karşılaştırılması

Parametre	Açıklama	Değer
f_{min}	En küçük frekans değeri	108 Mhz
f_{max}	En büyük frekans değeri	225 Mhz
W	Frekans bandı genişliği	1 Mhz
N_0	Gürültü güç spektral yoğunluğu	-173.5 dBm
N	Toplam telsiz sayısı	192
P	Telsiz iletim gücü	10-50 Watt
	Alan büyüklüğü	24x18 km

3.2.2 Sonuçlar

Algoritmalar karşılaştırılırken amacımız en kötü kullanıcıyı iyi bir seviyeye taşımak olduğundan en yüksek girişime sahip olan kullanıcıya gelen girişim ile gürültünün oranı incelenmiştir. Alıcıdaki gürültü N_0W olarak sabittir. Girişim 'I' olarak ifade edildiğinde I/N_0W oranının en kötü kullanıcıda düşük olması istenir. Şekil 3.4'te uygulanan algoritma ve gürültü girişim oranları 15 farklı deney sonucu olarak gösterilmiştir. 'GO'; genel bilgiye dayalı frekans tahsisi

ve en iyileme problemi sonucu elde edilen öbikleme uygulanmış ağdaki sonucu, 'GP'; genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve önerilen algoritma uygulanmış ağdaki sonucu, 'LO'; yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problemi sonucu elde edilen öbikleme uygulanmış ağdaki sonucu, 'LP'; yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve önerilen algoritma uygulanmış ağdaki sonucu ifade eder.

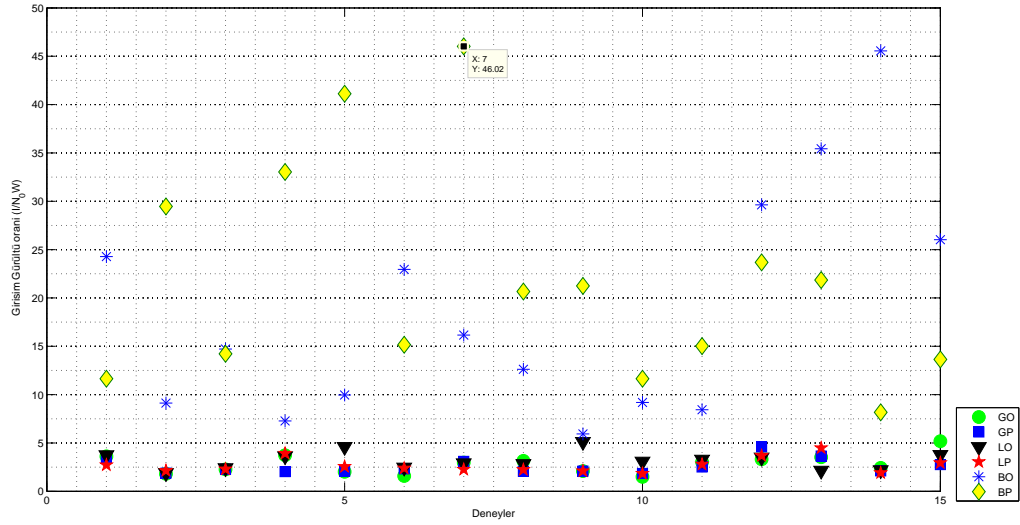


Şekil 3.4: Öbikleme ve Frekans Tahsis Algoritmaları Sonucu Girişim Gürültü Oranları

Bu benzetimler yapılmadan genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problem çözümü olarak elde edilen öbiklemin uygulandığı ağın en yüksek başarıma ulaşması beklenir. Şekil 3.4'ten de görüleceği üzere genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problem çözümü olarak elde edilen öbikleme uygulanmış ağ yapısı 15 denemenin 7'sinde en düşük girişim gürültü oranına, 4'ünde ise en düşük ikinci gürültü girişim oranına sahiptir. Yani 15 denemenin 11'inde iyi başarımlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar beklentilerin doğruluğunu gösterir.

Genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problem çözümünden elde edilen öbiklemin daha iyi sonuçlar vermesi yeterli değildir. Yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve önerilen öbikleme algoritmasının birlikte çalıştığı durumlarda da elde edilen sonuçların başarılı olması gerekir. Bu karşılaştırma için basit bir frekans tahsis yöntemi önerilmiştir. Öbekbaşıları rastgele bir sırayla seçilerek boş frekans bantlarından öbek elemanlarına frekans tahsisi yaparlar. Sırasıyla diğer öbek

başları kalan boş frekanslar ile öbek içi frekans tahsisini gerçekleştirir. Bu işlem belirli bir döngü boyunca devam eder. Burada kısıt bir frekans bandının en fazla 2 kere kullanılabilmesi olarak belirlenmiştir. Ayrıca frekans tahsisinde öbek elemanları arasındaki girişimi en aza indirmek için öbek içerisindeki düğümlere tahsis edilen taşıyıcı frekanslar arasında 2 frekans fark vardır. Tahsis bu kısıtlara göre yapılır. Bu frekans tahsisi basit frekans tahsisi olarak adlandırılmıştır. Basit frekans tahsisi ve en iyileme problem çözümünden elde edilen çözümler 'BO', basit frekans tahsisi ve önerilen algoritma ile elde edilen sonuçlar 'BP' olarak ifade edilmiştir. Kontrolsüz bir biçimde yapılan frekans tahsisinde ise girişimin gürültüye oranı 300 ila 9000 kat arasında değişmektedir ki bu durum kabul edilemez. Bütün sonuçların karşılaştırılmış hali Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Öbekleme ve Frekans Tahsis Algoritmaları Sonucu Girişim Gürültü Oranları

Şekil 3.5'ten de görüleceği üzere önerilen yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi algoritması ve önerilen öbekleme algoritmasının başarımı genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problem sonucu elde edilen öbekleme çözümünün başarımına çok yakındır. Önerilen algoritmaların başarımlarının kabul edilebilir olduğu görünmektedir.

4. YÖNLENDİRME VE TRAFİK

Daha önceki kısımlarda öbekleme ve frekans tahsisi problemleri için çözümler önerilmiştir. Bu kısımda önerilen çözümlerin bir yönlendirme ve veri trafiği uygulaması karşısında başarımları test edilmiştir.

4.1 Yönlendirme

Yönlendirme Algoritması Dijkstra en kısa yol algoritması olarak tanımlanmıştır [26]. Bu yönlendirme algoritması merkezi olarak uygulanan sistemin tamamı hakkında bilgi sahibi olunduğu durumda uygulanabilen bir algoritmadır. Dijkstra en kısa yol algoritmasında kullanılan maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. i ve j düğümleri sinyal gürültü oranı 20 dB üzerinde ise kullanıcılar arasında bağlantı var yani $Maliyet_{ij} = 1$ aksi durumda bağlantı yok yani $Maliyet_{ij} = \infty$ olarak kabul edilmiştir.

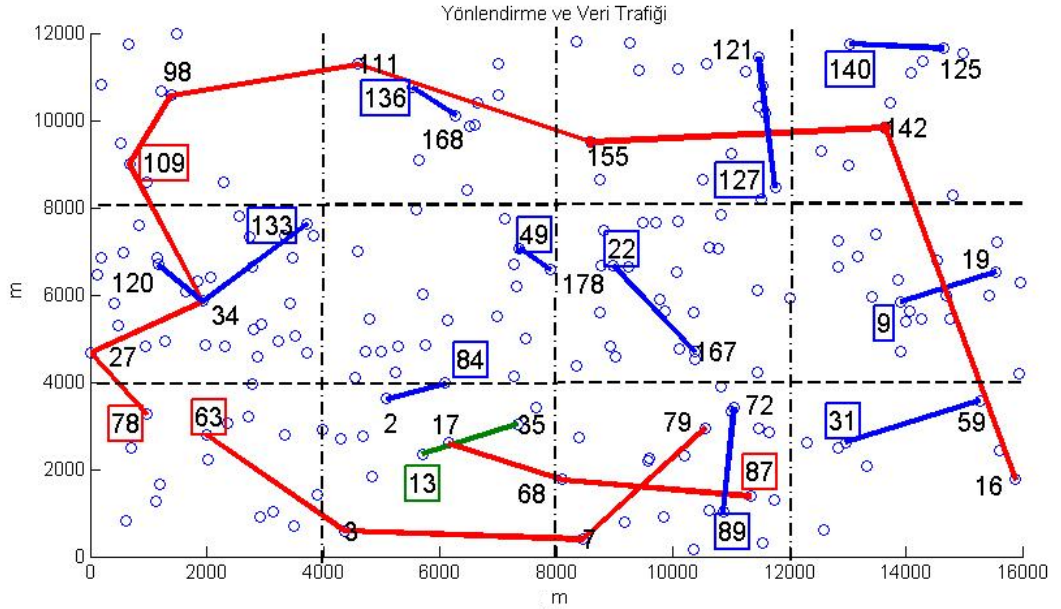
$$Maliyet_{ij} \begin{cases} 1, & SNR_{ij} \geq 20dB \\ \infty, & SNR_{ij} < 20dB. \end{cases} \quad (4.1)$$

Maliyetin 4.1 numaralı denklemdeki biçimde tanımlanması en kısa paketin kayba uğramadan mümkün olduğunca az düğüm üzerinden hedeflenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sürdürülürken öncelikle $Maliyet_{ij} = \frac{1}{SNR_{ij}}$ olarak tanımlanmış ve sonuçlar gözlenmiştir. Bu durumda paket kaybı ihtimali i ve j düğümleri arası bağlantının olmadığı yani sinyal gürültü oranlarının 10dB'den düşük olduğu durumlar hariç yoktur. Ancak maliyetin bu şekilde tanımlanması bir verinin kaynak ve hedef düğümleri arasında 4.1 numaralı denklemde ifade edildiği duruma göre 5 – 10 kat kadar fazla düğümden geçmesi gerekir ki bu da trafikte yoğunluğu çok fazla artıracığından istenmez.

4.2 Veri Trafığı

Haberleşme sistemi uygulanan öbektme, frekans tahsisi ve yönlendirme algoritmaları uygulanan ağ yapısına veri trafiğı uygulanmıştır. Askeri Telsiz Haberleşme sistemlerinde genel olarak ihtiyaç ses, video, komuta kontrol verileri ile sağlanabilir. Komuta kontrol ve ses gecikme konusunda gereksinimlere duyariken, video verilerin büyüklüğü nedeniyle bant genişliğı gereksinimini duyar. Bu veri tipleri sistemde rastgele zamanlarla rastgele alıcı ve verici arasında trafiğı neden olurlar. Bu yüzden trafik planlaması iyi yapılmalıdır.

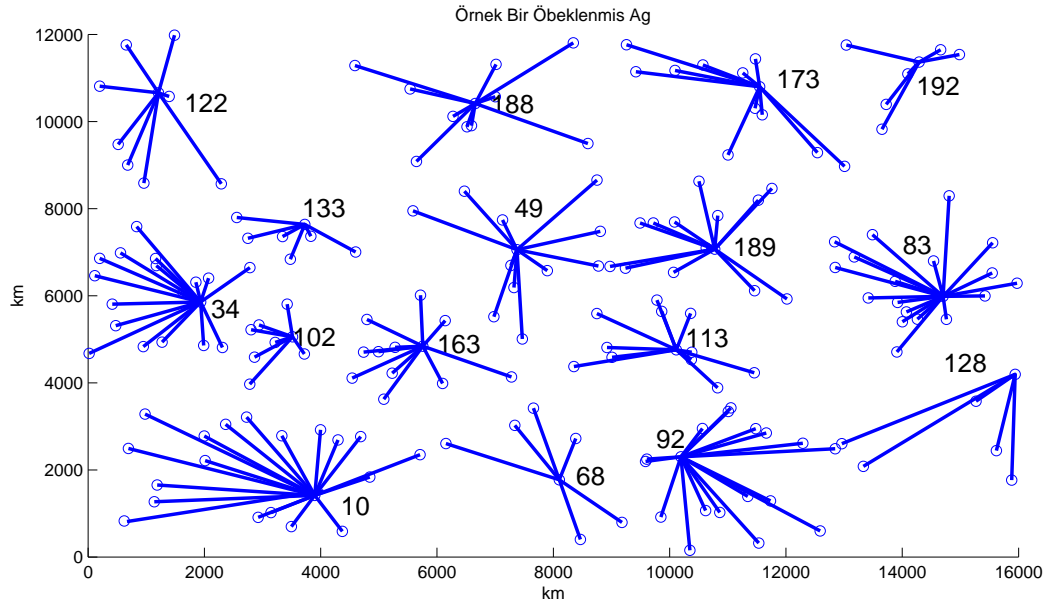
Örnek bir veri trafiğı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Kırmızı yönlendirmeler komuta kontrol verileri için yol, mavi yönlendirmeler ses verileri için yol, yeşil ise video verisi için yol olarak gösterilmiştir. Çerçevesiz kullanıcılar ise veri üretimi yapan kullanıcılar. 109 ve 34 numaralı kullanıcıların üzerinden aynı anda 2 trafik geçtiğı görülmektedir.



Şekil 4.1: Örnek Bir Ağ Üzerinde Veri Trafığı

4.2.1 Uyarlanmış ZBÇE

Öbekleme işlemi yapıldığında 192 kullanıcının bulunduğu ağda 16 öbek için bir öbekte ortalama 12 öbek üyesi mevcuttur. Bir kullanıcıya 1ms'lik zaman rezerve edildiğinde kullanıcı iki iletim arasında ortalama olarak 12 ms beklemek zorunda kalır. Öbek üyesi sayısı arttığında ise bu bekleme süresi daha da artar. Bu bekleme süresi içinde kullanıcı aşağıda tanımlanan ses, video, komuta kontrol trafik parametreleri doğrultusunda başarımlarını sağlaması çok zorlaşır. Özellikle aynı düğüm üzerinden birden fazla trafik geçtiğinde darboğaz oluşur ve başarımların sağlanması mümkün olmaz. Bu duruma çözüm olarak öbek başlarının yönlendirme bilgisine ve trafik süresince kendi öbeğinde bulunan hangi düğümün iletim yapacağı bilgisine sahip olduğu varsayımı ile ZBÇE yapısı düzenlenebilir. Şekil 4.1'de gösterilen yönlendirme için öbek yapısı Şekil 4.2'de görüldüğü gibidir. Bu örnek için öbeklerdeki elemanlar Çizelge 4.1 'de gösterildiği gibidir. Koyu olarak ifade edilen düğüm numaraları öbek başlarını ifade eder. Eğer bu örnek senaryo için ZBÇE yapısı uygulanırsa 2 ve 9 numaralı öbekte bulunan düğümler iki iletim arasında 19 ms beklemek zorunda kalır.



Şekil 4.2: Örnek Bir Öbek Yapısı

Bu senaryo için 15 alıcı verici çifti arasındaki yönlendirme bilgileri Çizelge 4.2'de

Çizelge 4.1: Örnek Bir Öbek Yapısı ve Öbekte Bulunan Düğümlerin Numaraları

Öbekler	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
Öbekte Bulunan Düğümler	96	3	4	23	21	2	104	27	1	16	49	125	7	8	14	98
	103	5	12	24	22	33	114	34	9	31	80	130	17	25	32	109
	111	6	15	28	38	46	117	39	11	58	99	140	35	29	37	122
	118	10	77	30	73	57	121	50	19	59	106	142	61	88	42	132
	136	13	94	36	101	84	141	51	26	65	112	151	68	133	52	137
	143	18	108	40	107	97	147	55	60	128	119	176	74	152	54	146
	145	20	113	41	127	110	148	81	62		124	192	90	183	71	149
	155	43	157	44	129	116	161	100	64		156				102	164
	158	45	166	56	138	134	162	105	67		171					181
	168	47	167	70	159	163	170	120	75		178					
	182	48	180	72	175	172	173	123	76		185					
	188	53	187	79	184	191	179	126	83		190					
		63		86	186			139	115							
		66		87	189			144	131							
		69		89				154	135							
		78		91				165	150							
		82		92				169	153							
	85		93				174	160								
	95							177								
Üye Sayısı	12	19	12	18	14	12	12	18	19	6	12	7	7	7	8	9

görünmektedir. Genellikle kaynak ve hedef düğümler birbirleri ile direkt irtibat kurabilirken, 5 düğüm atlayarak hedef düğüme ulaşan yollar da mevcuttur. Bu rotalama hakkındaki varsayımlar ve bilgiler daha ileriki kısımlarda anlatılacaktır.

Çizelge 4.2: Örnek Durum İçin Rotalama Bilgileri

Kaynak Düğüm- İletim Düğümleri - Hedef Düğüm

9-19	13-35	22-167
31-59	49-178	63-3-7-79
78-27-34-109	84-2	87-68-17
89-72	109-98-111-155-142-16	127-121
133-34-120	136-168	140-125

Yönlendirme ve trafik bilgisine önceden sahip olan öbek başı uyarlanmış ZBÇE ile rezervasyonu sadece iletim yapacak kullanıcılara yapar.Çizelge4.3'de öbek içerisinde iletim yapacak düğümler görülmektedir.

Bu uyarlanmış ZBÇE yapısı için 2 numaralı öbekte bulunan elemanlar iki iletim

Çizelge 4.3: Uyarlanmış ZBÇE İle Yeni Rezervasyon

Öbekler	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
İletim Yapan Dügümler	111	3		87	22	84	121	27	9	31	49	12	7	133		98
	136	13		89	127			34				142	68			109
	155	63														
		78														
İletim Yapan Dügüm Sayısı	3	4	-	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	-	2

arasında 19ms beklemek yerine 4 ms bekleme yaparlar bu da yaklaşık 5 kat kazanç demektir. Benzer şekilde bütün öbeklerde kazançlar görünmektedir. Burada 8 numaralı öbekteki 34 numaralı düğüme yönlendirmede üzerlerinden 2 farklı paket geçtiği ve 2 farklı paket için iletim yapacağından avantaj sağlanarak üzerinden geçen trafik miktarı kadar daha fazla iletim yapmalarına olanak sağlanır. Yani 8 numaralı öbekte 27 numaralı kullanıcıya 1 ms zaman rezervasyonu yapılırken 34 numaralı kullanıcıya 2ms zaman rezervasyonu yapılır. Bu senaryoda 15 adet düğüm veri üretimi ve iletim yapmakta 14 adet düğüm ise dinlemekte 9 adet düğüm ise hem dineleyip hem iletim yapmaktadır. Bu senaryo için ağdaki düğümlerin beşte biri aktif olarak çalışmaktadır.

4.2.2 Ses

Ses verisi için trafik parametreleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Askeri sistemlerde ses en öncelikli veri tipidir sesin en kısa gecikme sonrasında kaynaktan hedeflere ulaşması gerekmektedir. Benzetimlerde kullanılan ses trafik modeli Çizelge4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Ses Trafik Modeli

Uçtan Uca Gecikme	250 ms
Jitter Toleransı(ms)	Dahil
Bit Hızı	19.2 Kbps
Paket Dağılım Aralık Türü ve Üretme Dağılımı	22.5 ms
Ortalama Çağrı Süresi	Üssel $\mu = 5dk$
Ortalama Konuşma Süresi	1026 ms
Ortalama Sessiz Süresi	1171 ms
Çağrı Aralık Dağılımı	Üssel $\mu = 5dk$
Protokol	UDP

4.2.3 Komuta Kontrol

Komuta kontrol paketleri kritik askeri sistemlerde kritik önem taşır. Ani kararların bildirilmesi için gecikmenin çok az olması lazımdır. Komuta kontrol trafiği günümüzde kullanılan FTP trafiğine benzerlik gösterir. Komuta Kontrol trafik modeli için parametreler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir [27].

Çizelge 4.5: Komuta Kontrol Trafik Modeli

Uçtan Uca Gecikme	1000 ms
Jitter Toleransı(ms)	Dahil
Bit Hızı	6Kbps
Paket Dağılım Aralık Türü ve Üretim Dağılımı	FTP Üssel $\mu = 120ms$
Ortalama Paket Dağılımı ve Paket Boyu	Truncated Pareto $\mu = 480bmax = 720b$
Protokol	UDP

4.2.4 Video

Video uygulamaları yüksek bantgenişliğine ihtiyaç duyar. Askeri sistemlerde video uygulamaları kullanılsa da gerçek zamanlı video trafiği sağlamak çok kolay görünmemektedir. Model olarak gerçek zamana yakın video trafiği uyguladık. Ancak bu modelin çalışabilmesi için büyük öncelikler gerekmektedir. İyi kalitede gerçek zamanlı video iletimi yapmak için sistemin neredeyse boş olması gerekmektedir. Video trafik modeli için parametreler Çizelge 4.6'da gösterilmiştir [28].

Çizelge 4.6: Video Trafik Modeli

Uçtan Uca Gecikme	1000 ms
Jitter Toleransı(ms)	Dahil
Bit Hızı	128-256Kbps
Ortalama Paket Dağılımı ve Paket Boyu	Truncated Pareto $\mu = 10Kbmax = 24Kb$
Paket Üretim Aralığı	60 ms(10fps)
Protokol	UDP

5. BENZETİM SONUÇLARI

Simulasyon çalışmaları için 3.1 ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bir arazi belirlenmiştir. Bu arazide en yüksekteki kullanıcının konum avantajını $+10dB$, en alçaktakini de $-10dB$ olarak belirlenip, aradakileri yüksekliği ile orantılı olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla iki kullanıcı da yüksekte ise kanal kazancı çok yüksek olmaktadır. Bu konum avantajı modeli tam olarak gerçekçi olmayabilir. Örneğin yüksek rakımlı iki kullanıcının arasında bir tepe varsa, gerçekte gözlenecek kanal kazancı beklenenden düşük çıkabilir. Yine de bu konum avantajı modeli genel olarak gerçekçi bir modeldir.

5.1 Öbeklenmiş ve Frekans Tahsisi Yapılan Ağda Trafik Benzetimi

Benzetim için $12 \times 16km^2$ ’lik kısmi dağlık bir arazi modeli kullanılmıştır. Güçleri 10 veya 50 W olan 192 adet düğüm bu araziye rastgele bir biçimde dağılmış vaziyettedir. Bu düğümlere eniyileme problem çözümü veya önerilen algoritma uygulanarak öbek yapıları oluşturulur. Frekans tahsisinde ise genel bilgiye dayanan algoritma veya yerel bilgiye dayanan algoritma uygulanarak öbeklere frekans tahsisleri yapılmıştır. Birbirinden bağımsız belirli sayıda adet alıcı verici çifti tanımlanıp aralarında trafik oluşturulur. Alıcı verici çiftleri arasındaki yönlendirme Dijkstra en kısa yol algoritması uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

5.2 Benzetim Senaryosu

Yapılan trafik benzetiminde arazi $4 \times 4km^2$ ’lik 12 adet bölgeye ayrılmıştır. Benzertim parametrelerine bağlı miktarda ses ve komuta kontrol trafiği olduğu

kabul edilmiştir. Ses verilerinin aynı bölgede bulunan kaynak ve hedef düğümler arasında gönderildiği kabulü ile rastgele kaynak ve hedef düğümleri seçilmiştir. Benzer şekilde komuta kontrol trafiğinde de kaynak ve hedef düğümlerinin birbirlerinden farklı bölgelerde olması gereksinimini karşılayacak biçimde kaynak ve hedef düğümleri rastgele olarak seçilmiştir. Video verilerinin çok büyük kanal kapasitesi ve ZBÇE rezervasyonuna ihtiyaç duymasından kaynaklanan diğer ses ve komuta kontrol verilerinin kullanılmadığı bölgede rastgele alıcı verici çifti tanımlanarak video trafiği oluşturulmuştur. Bir kullanıcının sadece bir adet veri tipi üreteceği kabul edilmiştir. Uyarlanmış ZBÇE yapısı bölümünde detaylı olarak anlatılan ZBÇE yapısı için düğümlere öbek başları tarafından zaman rezervasyonu ve bu zamanda iletim yapacakları frekanslar rezerve edilmiştir. Düğümler kendilerine rezerve edilen zaman diliminde farklı frekanslarda iletim yapmasını sağlamak açısından frekans tahsis algoritmaları sonucu çıkan frekans atlama örüntüleri düğümlerin her bir iletim zamanında farklı frekansları kullanması amaçlanarak rastgele olarak rezerve edilmiştir. Örnek bir yönlendirme Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere 12 bölgenin her birinde en az 1 adet veri trafiği oluşturulmuştur.

Belirlenen kaynak düğümlerden belirli bir süre boyunca paket üretimi yapılır. Üretim bitmiş olsa da benzetim tüm paketler hakkında ağdan çıktı bilgisi gelene kadar benzetim devam eder. Askeri sistemlerde gerçek zamanlı video iletimi hayati önem taşımaz bununla birlikte komuta kontrol ve ses verileri çok önemlidir. Bu sebepten dolayı aynı düğüm üzerinden yapılan iletimde komuta kontrol ve ses verilerine öncelik tanınmıştır. En önemli veri komuta kontrol paketleri olduğu için en öncelikli gönderilen veri komuta kontrol paketleridir, daha sonra ses verileri ve en son olarak da video verileridir. Ancak burada koşulsuz bir öncelik tanımlaması yoktur. Eğer paketler üretildikten belirli bir zaman eşliğinden fazla sürede öncelikten dolayı gönderilemediyse bu paketler öncelik sırasında en öne geçerler. Kapasite gecikmesi artmış paketler için kullanılır çok büyük süreli gecikmeler böylece önlenir. İletim sırasında düğümler arasında sinyal gürültü girişim oranı 10dB'den fazla ile belirtilen zaman diliminde düğümün başarılı iletildiği kabul edilir. Düğümler geçmişte iletim yaptığı düğüm ile arasındaki sinyal gürültü girişim oranı bilgisini hafızalarında saklarlar. Bir sonraki iletim sırasında bu sinyal gürültü girişim oranı bilgisine göre:

1. Sinyal gürültü girişim oranı 10dB'den fazla ise 1 paket
2. Sinyal gürültü girişim oranı 15dB'den fazla ise 2 paket.
3. Sinyal gürültü girişim oranı 20dB'den fazla ise 3 paket.

göndermeye çalışır. O andaki SINR şartları sağlar ise paket iletimi gerçekleşir.

Bu projenin en önemli motivasyonlarından biri de sinyal bozuculara karşı gürbüz bir sistem tasarlamak olduğundan sinyal bozucuların etkisinden kurtulmak için bir paketin düğümler arasında 2 başarılı iletim yapılması şartı konulmuştur. Paket iki düğüm arasında sinyal gürültü girişim oranını sağlayacak biçimde 2 başarılı iletimi gerçekleştirdiğinde paketin alıcı düğüme başarılı olarak ulaştığı kabul edilmiştir.

5.3 Benzetim Parametreleri

Uygulanan algoritmalar karşılaştırılırken Çizelge 5.1'de görünen parametreler kullanıldı. Bir önceki benzetim parameterelerinden farklı olarak burada alan küçültüldü. Bu küçültmenin birinci sebebi bütün düğümler arasında mutlaka bir yol olması şartı sağlanmasıdır. Ayrıca birbirlerine yaklaşan düğümlerin birbirlerine daha güçlü girişim yapması beklenir. Böylelikle önerilen algoritmalar daha zor şartlar altında test edilir. Trafik süresi 1 dk olarak çalıştırılmıştır. Herhangi bir düğümden yoğunluk yoksa benzetimin süresinin önemi azalır. Sıkışıklık oluşu durumlarda gecikme birikimli olarak artış gösterir.

5.4 Sonuçlar

Yukarıdaki kısımda detaylı olarak anlatılan model için benzetimler 2 farklı frekans tahsis algoritması ve 2 farklı öbekleme algoritması kullanılarak 10 farklı deney üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar sırasıyla genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problemi çözümünden elde edilen öbekleme, genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve önerilen algoritma ile öbekleme, yerel bilgiye dayalı

Çizelge 5.1: Benzetim Parametreleri: Yönlendirme ve Trafik Benzetimi

Parametre	Açıklama	Değer
f_{min}	En küçük frekans değeri	108 Mhz
f_{max}	En büyük frekans değeri	225 Mhz
W	Frekans bandı genişliği	1 Mhz
N_0	Gürültü güç spektral yoğunluğu	-173.5 dBm
N	Toplam telsiz sayısı	192
P	Telsiz iletim gücü	10-50 Watt
Alan büyüklüğü		$12 \times 16 km^2$
ses trafiği oluşturan düğüm sayısı		10-16
Komuta kontrol trafiği oluşturan düğüm sayısı		4-7
Video trafiği oluşturan düğüm sayısı		1
Trafik Süresi		60000 ms (1dk)

frekans tahsisi ve en iyileme problem çözümünden elde edilen öbekleme ve son olarak yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve önerilen algoritma ile öbekleme olarak her bir deneme için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge5.2-Çizelge5.11 incelendiğinde bütün deneylerde 4 farklı durumun da istenilen gecikme şartlarını sağladığı ve iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sonuçlardan daha iyi sonuçları vermesi beklenen genel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve en iyileme problem çözümünden elde edilen öbeklemenin uygulandığı ağların diğer durumlardan çok büyük farkla iyi olmadığı söylenebilir. Buradan yola çıkarak daha basit olarak dağıtık olarak uygulanabilen yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi ve yine dağıtık olarak uygulanabilen önerilen öbekleme algoritmasının rastgele oluşturulmuş bir ağda başarımı daha yüksek olan algoritmalar kadar iyi olduğu söylenebilir.

Önerilen algoritmaların daha zorlu şartlarda test edilebilmesi için 16 adet ses, 7 adet komuta kontrol ve 1 video trafiği üretilmiştir ve benzetimler yapılmıştır. Ses trafikleri aynı bölge içerisinde oluşturulurken, komuta kontrol verileri birbirlerinden farklı bölgeler arasında iletilmektedir. Video yüksek bant genişliği ihtiyacı olan bir uygulama olduğu için video trafiği için ayrıcalık yapılmıştır. Video iletimi bir bölgede gerçekleştirilirken bu bölge köşe bölgelerden bir tanesi olarak seçilmiştir ki diğer trafikler bu bölgede sıkışıklığa neden olmasın. Bu trafik modelleri için yine 10 adet deneme yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki

Çizelge5.12- Çizelge 5.21’de gösterilmiştir.

Çizelge5.12-Çizelge5.21 incelendiğinde bütün deneylerde 4 farklı durumun da istenilen gecikme şartlarını sağladığı ve iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Önerilen algoritmaların 10 farklı deney için yeterli başarıyı gösterdiği söylenebilir. Ağ içerisindeki trafik sayısı daha da artırıldığında artan paket sayısından olayı benzetimin çalışma süresi çok artmaktadır. Aynı zamanda başarımda azalma olmaktadır. 16 ses, 7 komuta kontrol, 1 video barındıran trafikte 10 denemenin tamamında başarı sağlanırken, 18 ses, 8 komuta kontrol, 1 video içeren trafik modelinde 10 denemenin 7’si başarılı olurken 3 tanesi istenilen gecikme şartlarında başarısız olur. Bunun nedeni yönlendirmede gücü 50 W olan telsizlerin tercih edilmesi olarak gösterilebilir. Bu düğümlerin iletebilecekleri paket sayısı en iyi şartta bile aynı anda 3 paket olacağından üzerlerinden geçen trafik sayısı arttığında sıkışıklık gözlenir. Bu sıkışıklık uyarlamalı bir yönlendirme algoritması ile çözülebilir.

Çizelge 5.2: Deneme 1: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #1				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	15,7790	2,8156	3,0000	7,4775
Ortalama Gecikme (ms)	16,2670	3,9510	4,0000	8,3505
En Yüksek Gecikme (ms)	29	21	5	29
Paket Sayısı	22742	26090	15000	63832
Ortalama SINR (dB)				28,297
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	17,4050	3,1005	3,0000	8,1733
Ortalama Gecikme (ms)	18,5227	4,2404	4,0000	9,2724
En Yüksek Gecikme (ms)	35	21	5	35
Paket Sayısı	22742	26090	15000	63832
Ortalama SINR (dB)				27,936
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	15,7771	2,8194	3,0000	7,4784
Ortalama Gecikme (ms)	16,2655	3,9548	4,0000	8,3515
En Yüksek Gecikme (ms)	33	21	5	33
Paket Sayısı	22742	26090	15000	63832
Ortalama SINR (dB)				27,513
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	17,4486	3,1026	3,0000	8,1897
Ortalama Gecikme (ms)	18,5795	4,2573	4,0000	9,2996
En Yüksek Gecikme (ms)	35	21	5	35
Paket Sayısı	22742	26090	15000	63832
Ortalama SINR (dB)				28,174

Çizelge 5.3: Deneme 2: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #2				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	15,0074	3,1275	4,0050	7,2790
Ortalama Gecikme (ms)	16,0012	3,5585	5,0050	8,0354
En Yüksek Gecikme (ms)	29	11	10	29
Paket Sayısı	20369	26090	15000	61459
Ortalama SINR (dB)				27,108
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	17,3995	3,4521	4,9620	8,4431
Ortalama Gecikme (ms)	19,2260	3,9752	6,9516	9,7561
En Yüksek Gecikme (ms)	37	13	9	37
Paket Sayısı	20369	26090	15000	61459
Ortalama SINR (dB)				28,219
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	14,8715	3,0706	4,0000	7,2085
Ortalama Gecikme (ms)	15,8643	3,5015	5,0000	7,9646
En Yüksek Gecikme (ms)	27	11	7	27
Paket Sayısı	20369	26090	15000	61459
Ortalama SINR (dB)				27,957
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	17,4013	3,4972	5,0383	8,4815
Ortalama Gecikme (ms)	19,2278	4,0203	7,0279	9,7945
En Yüksek Gecikme (ms)	39	14	11	39
Paket Sayısı	20369	26090	15000	61459
Ortalama SINR (dB)				27,109

Çizelge 5.4: Deneme 3: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #3				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,5503	5,1261	3,1961	6,0406
Ortalama Gecikme (ms)	10,5083	5,9475	4,3867	6,9973
En Yüksek Gecikme (ms)	17	17	7	17
Paket Sayısı	18954	26090	15000	60044
Ortalama SINR (dB)				32,417
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	6,2992	4,4998	4,4266	5,0495
Ortalama Gecikme (ms)	7,1951	5,0881	5,8570	5,9453
En Yüksek Gecikme (ms)	15	17	10	17
Paket Sayısı	18954	26090	15000	60044
Ortalama SINR (dB)				32,696
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,5503	5,1230	3,1904	6,0378
Ortalama Gecikme (ms)	10,5083	5,9443	4,3809	6,9945
En Yüksek Gecikme (ms)	17	17	7	17
Paket Sayısı	18954	26090	15000	60044
Ortalama SINR (dB)				32,605
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	6,2964	4,5015	4,4282	5,0498
Ortalama Gecikme (ms)	7,1923	5,0901	6,1422	6,0166
En Yüksek Gecikme (ms)	15	17	10	17
Paket Sayısı	18954	26090	15000	60044
Ortalama SINR (dB)				32,217

Çizelge 5.5: Deneme 4: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #4				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,4689	2,6438	2,1069	3,1487
Ortalama Gecikme (ms)	4,6219	3,0769	2,2258	3,4098
En Yüksek Gecikme (ms)	13	10	6	13
Paket Sayısı	21818	26090	15000	62908
Ortalama SINR (dB)				28,233
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,8105	2,6338	2,1119	3,2643
Ortalama Gecikme (ms)	5,3079	2,9647	2,2114	3,5978
En Yüksek Gecikme (ms)	11	7	5	11
Paket Sayısı	21818	26090	15000	62908
Ortalama SINR (dB)				30,213
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,4651	2,6331	2,1055	3,1427
Ortalama Gecikme (ms)	4,6181	3,0663	2,2236	3,4035
En Yüksek Gecikme (ms)	11	15	5	15
Paket Sayısı	21818	26090	15000	62908
Ortalama SINR (dB)				28,749
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,8208	2,6473	2,1113	3,2733
Ortalama Gecikme (ms)	5,3182	2,9782	2,2109	3,6068
En Yüksek Gecikme (ms)	11	9	5	11
Paket Sayısı	21818	26090	15000	62908
Ortalama SINR (dB)				30,274

Çizelge 5.6: Deneme 5: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #5				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	10,2025	2,8330	3,0000	5,5604
Ortalama Gecikme (ms)	10,9157	3,2563	3,0000	5,9913
En Yüksek Gecikme (ms)	28	9	4	28
Paket Sayısı	23602	26090	15000	64.692,0000
Ortalama SINR (dB)				30,490
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	10,3297	2,7423	3,0000	5,5702
Ortalama Gecikme (ms)	11,4814	3,1175	3,0000	6,1417
En Yüksek Gecikme (ms)	30	7	4	30
Paket Sayısı	23602	26090	15000	64692
Ortalama SINR (dB)				31,034
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	10,1964	2,8394	3,0033	5,5615
Ortalama Gecikme (ms)	10,9095	3,2627	3,0033	5,9924
En Yüksek Gecikme (ms)	24	9	6	24
Paket Sayısı	23602	26090	15000	64692
Ortalama SINR (dB)				29,695
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	10,3325	2,7427	3,0016	5,5718
Ortalama Gecikme (ms)	11,4841	3,1179	3,0016	6,1432
En Yüksek Gecikme (ms)	29	7	6	29
Paket Sayısı	23602	26090	15000	64692
Ortalama SINR (dB)				30,318

Çizelge 5.7: Deneme 6: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #6				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,6774	4,5021	4,9620	4,6729
Ortalama Gecikme (ms)	5,5065	5,3303	6,9516	5,7608
En Yüksek Gecikme (ms)	11	13	9	13
Paket Sayısı	26069	26090	15000	67159
Ortalama SINR (dB)				30,932
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,2570	3,6302	4,9620	4,1710
Ortalama Gecikme (ms)	5,0435	4,1302	6,9516	5,1148
En Yüksek Gecikme (ms)	9	11	9	11
Paket Sayısı	26069	26090	15000	67159
Ortalama SINR (dB)				30,893
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,6571	4,4874	4,9620	4,6593
Ortalama Gecikme (ms)	5,4862	5,3153	6,9516	5,7471
En Yüksek Gecikme (ms)	10	14	9	14
Paket Sayısı	26069	26090	15000	67159
Ortalama SINR (dB)				31,882
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	4,2662	3,6373	4,9620	4,1773
Ortalama Gecikme (ms)	5,0526	4,1374	6,9516	5,1212
En Yüksek Gecikme (ms)	9	11	9	11
Paket Sayısı	26069	26090	15000	67159
Ortalama SINR (dB)				31,009

Çizelge 5.8: Deneme 7: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #7				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,6785	3,4927	3,0049	6,2296
Ortalama Gecikme (ms)	12,4243	4,0426	3,0049	6,7170
En Yüksek Gecikme (ms)	17	13	6	17
Paket Sayısı	21981	26090	15000	63071
Ortalama SINR (dB)				25,494
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,6056	3,4105	2,0186	5,9355
Ortalama Gecikme (ms)	12,5522	3,9104	2,0186	6,4723
En Yüksek Gecikme (ms)	19	12	6	19
Paket Sayısı	21981	26090	15000	63071
Ortalama SINR (dB)				26,897
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,6723	3,4626	3,0016	6,2141
Ortalama Gecikme (ms)	12,4075	4,0125	3,0016	6,6978
En Yüksek Gecikme (ms)	17	11	6	17
Paket Sayısı	21981	26090	15000	63071
Ortalama SINR (dB)				26,235
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,1116	3,4206	2,0137	5,7664
Ortalama Gecikme (ms)	12,5291	3,9205	2,0137	6,4673
En Yüksek Gecikme (ms)	20	11	5	20
Paket Sayısı	21981	26090	15000	63071
Ortalama SINR (dB)				26,540

Çizelge 5.9: Deneme 8: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #8				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,6785	3,4927	3,0049	6,2296
Ortalama Gecikme (ms)	12,4243	4,0426	3,0049	6,7170
En Yüksek Gecikme (ms)	17	13	6	17
Paket Sayısı	22628	26090	15000	63718
Ortalama SINR (dB)				25,494
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,2577	3,3456	2,0869	5,1488
Ortalama Gecikme (ms)	9,3786	3,8652	2,2173	5,4352
En Yüksek Gecikme (ms)	22	13	5	22
Paket Sayısı	22628	26090	15000	63718
Ortalama SINR (dB)				26,8057
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,9382	3,5163	3,0000	5,6754
Ortalama Gecikme (ms)	10,2485	4,1158	3,0000	6,0310
En Yüksek Gecikme (ms)	20	14	4	20
Paket Sayısı	22628	26090	15000	63718
Ortalama SINR (dB)				26,9218
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,2112	3,3291	2,0869	5,1256
Ortalama Gecikme (ms)	9,3319	3,8487	2,2173	5,4119
En Yüksek Gecikme (ms)	20	11	5	20
Paket Sayısı	22628	26090	15000	63718
Ortalama SINR (dB)				26,6443

Çizelge 5.10: Deneme 9: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #9				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	12,9043	6,5553	5,9770	8,7229
Ortalama Gecikme (ms)	15,0755	7,7067	8,8018	10,6334
En Yüksek Gecikme (ms)	32	57	18	57
Paket Sayısı	23375	26090	15000	64465
Ortalama SINR (dB)				29,3384
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	12,8705	5,8538	5,9746	8,4262
Ortalama Gecikme (ms)	14,7275	6,7281	8,8760	10,1285
En Yüksek Gecikme (ms)	30	56	18	56
Paket Sayısı	23375	26090	15000	64465
Ortalama SINR (dB)				29,1040
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	13,1900	6,2545	6,0142	9,1524
Ortalama Gecikme (ms)	14,3985	7,4710	8,9652	10,3306
En Yüksek Gecikme (ms)	28	55	18	55
Paket Sayısı	23375	26090	15000	64465
Ortalama SINR (dB)				29,2586
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	13,7656	5,7083	5,9954	8,2930
Ortalama Gecikme (ms)	14,4698	6,6753	8,9350	10,0274
En Yüksek Gecikme (ms)	32	56	22	56
Paket Sayısı	23375	26090	15000	64465
Ortalama SINR (dB)				28,7272

Çizelge 5.11: Deneme 10: 10 Ses - 4 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #10				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	8,8215	3,1814	3,0000	5,0532
Ortalama Gecikme (ms)	9,3451	3,8011	4,0000	5,7319
En Yüksek Gecikme (ms)	17	17	5	17
Paket Sayısı	21132	26090	15000	62222
Ortalama SINR (dB)				29,160
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	8,8215	3,1814	3,0000	5,0532
Ortalama Gecikme (ms)	9,3451	3,8011	4,0000	5,7319
En Yüksek Gecikme (ms)	17	17	5	17
Paket Sayısı	21132	26090	15000	62222
Ortalama SINR (dB)				29,160
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	8,8286	3,1940	3,0000	5,0608
Ortalama Gecikme (ms)	9,3522	3,8136	4,0000	5,7396
En Yüksek Gecikme (ms)	17	17	5	17
Paket Sayısı	21132	26090	15000	62222
Ortalama SINR (dB)				28,933
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	8,3212	2,8972	3,0000	4,7641
Ortalama Gecikme (ms)	8,8899	3,3543	4,0000	5,3900
En Yüksek Gecikme (ms)	17	13	5	17
Paket Sayısı	21132	26090	15000	62222
Ortalama SINR (dB)				29,448

Çizelge 5.12: Deneme 1: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #1(16 Ses - 7 Komuta Kontrol - 1 Video)				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	13,9660	5,2417	2,5055	8,4527
Ortalama Gecikme (ms)	16,9626	6,3442	3,4627	10,3215
En Yüksek Gecikme (ms)	38	26	10	38
Paket Sayısı	40492	41744	15000	97236
Ortalama SINR (dB)				28,7371
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	14,7498	6,2352	3,7983	9,4050
Ortalama Gecikme (ms)	16,5630	7,4769	5,9063	11,0184
En Yüksek Gecikme (ms)	47	37	15	47
Paket Sayısı	40492	41744	15000	97236
Ortalama SINR (dB)				28,695
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	13,6186	5,1508	2,5699	8,2789
Ortalama Gecikme (ms)	16,5997	6,2541	3,5357	10,1430
En Yüksek Gecikme (ms)	37	27	12	37
Paket Sayısı	40492	41744	15000	97236
Ortalama SINR (dB)				28,971
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	14,7091	6,1116	3,6616	9,3139
Ortalama Gecikme (ms)	16,5209	7,3502	5,7473	10,9219
En Yüksek Gecikme (ms)	47	30	13	47
Paket Sayısı	40492	41744	15000	97236
Ortalama SINR (dB)				28,928

Çizelge 5.13: Deneme 2: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #2				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,3348	5,4167	4,0000	8,2936
Ortalama Gecikme (ms)	13,5998	6,6981	5,0000	9,5264
En Yüksek Gecikme (ms)	31	28	7	31
Paket Sayısı	45654	41744	15000	102398
Ortalama SINR (dB)				29,7067
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	11,9007	6,6786	4,0148	8,6166
Ortalama Gecikme (ms)	13,5025	8,3200	5,0148	10,1465
En Yüksek Gecikme (ms)	35	48	10	48
Paket Sayısı	45654	41744	15000	102398
Ortalama SINR (dB)				30,5381
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,2973	5,4382	4,0000	8,2856
Ortalama Gecikme (ms)	13,5725	6,7119	5,0000	9,5199
En Yüksek Gecikme (ms)	30	28	7	30
Paket Sayısı	45654	41744	15000	102398
Ortalama SINR (dB)				29,771
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,2281	6,7879	4,1478	8,8267
Ortalama Gecikme (ms)	13,8406	8,4131	5,1478	10,3546
En Yüksek Gecikme (ms)	38	57	10	57
Paket Sayısı	45654	41744	15000	102398
Ortalama SINR (dB)				29,766

Çizelge 5.14: Deneme 3: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #3				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	14,5390	6,3668	2,0191	8,4848
Ortalama Gecikme (ms)	15,9365	8,0031	2,0191	9,7565
En Yüksek Gecikme (ms)	30	56	4	56
Paket Sayısı	30623	41744	15000	87367
Ortalama SINR (dB)				27,7464
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	14,3009	5,8260	2,0000	8,1396
Ortalama Gecikme (ms)	15,3884	7,3814	2,0000	9,2640
En Yüksek Gecikme (ms)	40	52	3	52
Paket Sayısı	30623	41744	15000	87367
Ortalama SINR (dB)				28,028
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	14,2397	6,1595	2,0024	8,2779
Ortalama Gecikme (ms)	15,4673	7,7311	2,0024	9,4592
En Yüksek Gecikme (ms)	29	36	4	36
Paket Sayısı	30623	41744	15000	87367
Ortalama SINR (dB)				28,776
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	14,2645	5,8538	2,0032	8,1407
Ortalama Gecikme (ms)	15,3480	7,4062	2,0032	9,2623
En Yüksek Gecikme (ms)	36	58	4	58
Paket Sayısı	30623	41744	15000	87367
Ortalama SINR (dB)				27,808

Çizelge 5.15: Deneme 4: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #4				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,3419	7,3047	2,0000	9,0664
Ortalama Gecikme (ms)	13,4265	10,7979	2,0000	10,9064
En Yüksek Gecikme (ms)	32	62	3	62
Paket Sayısı	54810	41744	15000	111554
Ortalama SINR (dB)				27,664
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,9279	5,9222	6,0000	9,3748
Ortalama Gecikme (ms)	14,4097	8,6135	8,0000	11,3789
En Yüksek Gecikme (ms)	37	64	11	64
Paket Sayısı	54810	41744	15000	111554
Ortalama SINR (dB)				28,526
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,3116	7,4063	2,0000	9,0895
Ortalama Gecikme (ms)	13,3971	10,8927	2,0000	10,9274
En Yüksek Gecikme (ms)	34	62	3	62
Paket Sayısı	54810	41744	15000	111554
Ortalama SINR (dB)				27,839
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,8464	5,9490	6,0000	9,3448
Ortalama Gecikme (ms)	14	8	8	11
En Yüksek Gecikme (ms)	37	64	11	64
Paket Sayısı	54810	41744	15000	111554
Ortalama SINR (dB)				28,287

Çizelge 5.16: Deneme 5: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #5				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,7780	5,3325	6,0000	6,9388
Ortalama Gecikme (ms)	11,1552	6,5194	7,0000	8,1566
En Yüksek Gecikme (ms)	21	24	8	24
Paket Sayısı	28578	41744	15000	85322
Ortalama SINR (dB)				27,196
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	10,2295	5,9171	6,0811	7,3903
Ortalama Gecikme (ms)	11,8233	7,2535	7,0811	8,7538
En Yüksek Gecikme (ms)	24	32	12	32
Paket Sayısı	28578	41744	15000	85322
Ortalama SINR (dB)				26,651
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	9,9336	5,3831	6,0425	7,0232
Ortalama Gecikme (ms)	11,7435	6,5694	7,0425	8,3856
En Yüksek Gecikme (ms)	27	26	10	27
Paket Sayısı	28578	41744	15000	85322
Ortalama SINR (dB)				26,844
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	10,20131	5,818968	6,007333	7,3199175
Ortalama Gecikme (ms)	11,81423	7,155376	7,007333	8,6897986
En Yüksek Gecikme (ms)	27	25	10	27
Paket Sayısı	28578	41744	15000	85322
Ortalama SINR (dB)				27,213

Çizelge 5.17: Deneme 6: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #6				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	15,4055	5,5463	4,0000	8,8798
Ortalama Gecikme (ms)	17,7492	7,3883	5,0000	10,7631
En Yüksek Gecikme (ms)	39	57	7	57
Paket Sayısı	32540	41744	15000	89284
Ortalama SINR (dB)				28,286
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	10,7548	4,8905	4,0000	6,8782
Ortalama Gecikme (ms)	13,6716	6,1751	5,0000	8,7098
En Yüksek Gecikme (ms)	38	24	7	38
Paket Sayısı	32540	41744	15000	89284
Ortalama SINR (dB)				28,936
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	15,3804	5,4851	4,0000	8,8420
Ortalama Gecikme (ms)	17,7177	7,3291	5,0000	10,7240
En Yüksek Gecikme (ms)	39	57	7	57
Paket Sayısı	32540	41744	15000	89284
Ortalama SINR (dB)				29,180
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	10,7864	4,8960	4,0000	6,8923
Ortalama Gecikme (ms)	13,7298	6,1805	5,0000	8,7336
En Yüksek Gecikme (ms)	35	22	7	35
Paket Sayısı	32540	41744	15000	89284
Ortalama SINR (dB)				28,712

Çizelge 5.18: Deneme 7: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #7				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	16,8475	5,0874	4,0502	10,0324
Ortalama Gecikme (ms)	19,3602	6,5803	5,0502	11,8938
En Yüksek Gecikme (ms)	64	48	10	64
Paket Sayısı	43456	41744	15000	100200
Ortalama SINR (dB)				25,472
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,8468	5,0455	4,0000	8,2724
Ortalama Gecikme (ms)	14,2355	6,2398	5,0000	9,5219
En Yüksek Gecikme (ms)	31	18	7	31
Paket Sayısı	43456	41744	15000	100200
Ortalama SINR (dB)				25,8094
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	16,2623	4,9590	4,0570	9,7261
Ortalama Gecikme (ms)	18,6424	6,4396	5,0570	11,5249
En Yüksek Gecikme (ms)	36	37	10	37
Paket Sayısı	43456	41744	15000	100200
Ortalama SINR (dB)				26,470
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,8272	5,0211	4,0000	8,2537
Ortalama Gecikme (ms)	14,2016	6,2120	5,0000	9,4956
En Yüksek Gecikme (ms)	30	16	7	30
Paket Sayısı	43456	41744	15000	100200
Ortalama SINR (dB)				26,207

Çizelge 5.19: Deneme 8: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #8				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	10,8911	3,9671	2,0000	6,5103
Ortalama Gecikme (ms)	12,0647	5,0392	2,0000	7,4573
En Yüksek Gecikme (ms)	28	25	3	28
Paket Sayısı	39677	41744	15000	96421
Ortalama SINR (dB)				28,750
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	10,0583	3,6129	3,0000	6,1698
Ortalama Gecikme (ms)	11,1375	4,5252	4,0000	7,1644
En Yüksek Gecikme (ms)	25	13	5	25
Paket Sayısı	39677	41744	15000	96421
Ortalama SINR (dB)				29,1863
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	11,0829	4,0183	2,0015	6,6116
Ortalama Gecikme (ms)	12,2567	5,0929	2,0015	7,5598
En Yüksek Gecikme (ms)	27	28	4	28
Paket Sayısı	39677	41744	15000	96421
Ortalama SINR (dB)				28,9326
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	10,1479	3,6336	3,0000	6,2157
Ortalama Gecikme (ms)	11,2284	4,5460	4,0000	7,2109
En Yüksek Gecikme (ms)	28	15	5	28
Paket Sayısı	39677	41744	15000	96421
Ortalama SINR (dB)				28,9474

Çizelge 5.20: Deneme 9: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #9				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,2355	5,0407	3,0095	7,9332
Ortalama Gecikme (ms)	13,9400	6,4162	4,0095	9,3994
En Yüksek Gecikme (ms)	28	21	7	28
Paket Sayısı	45231	41744	15000	101975
Ortalama SINR (dB)				28,6589
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,3886	4,8462	3,0008	7,9202
Ortalama Gecikme (ms)	14,0286	5,8349	4,0008	9,1994
En Yüksek Gecikme (ms)	29	19	7	29
Paket Sayısı	45231	41744	15000	101975
Ortalama SINR (dB)				28,0833
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,4901	5,1623	3,0695	8,1047
Ortalama Gecikme (ms)	14,1818	6,5436	4,0695	9,5676
En Yüksek Gecikme (ms)	31	28	7	31
Paket Sayısı	45231	41744	15000	101975
Ortalama SINR (dB)				28,3712
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Süresi (ms)	12,4455	4,8556	3,0265	7,9531
Ortalama Gecikme (ms)	14,0817	5,8457	4,0265	9,2312
En Yüksek Gecikme (ms)	31	21	7	31
Paket Sayısı	45231	41744	15000	101975
Ortalama SINR (dB)				28,3976

Çizelge 5.21: Deneme 10: 16 Ses- 7 Komuta Kontrol - 1 Video için Trafik Benzetim Sonuçları

Deney #10				
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	12,0790	4,3839	2,4095	7,5155
Ortalama Gecikme (ms)	13,2839	5,5493	3,0643	8,6234
En Yüksek Gecikme (ms)	33	16	7	33
Paket Sayısı	45428	41744	15000	102172
Ortalama SINR (dB)				28,360
Genel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,3239	4,954652	3,322267	7,5469111
Ortalama Gecikme (ms)	12,56159	6,245257	4,801867	8,8417375
En Yüksek Gecikme (ms)	27	21	11	27
Paket Sayısı	45428	41744	15000	102172
Ortalama SINR (dB)				27,587
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Optimal Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,9977	4,4211	2,4141	7,4952
Ortalama Gecikme (ms)	13,2025	5,5905	3,0669	8,6045
En Yüksek Gecikme (ms)	36	17	7	36
Paket Sayısı	45428	41744	15000	102172
Ortalama SINR (dB)				28,413
Yerel Bilgiye Dayalı Frekans Tahsisi	Önerilen Öbeleme			
	Komuta Kontrol	Ses	Video	Tüm Paketler
Ortalama İletim Suresi (ms)	11,2572	4,8532	3,3476	7,4795
Ortalama Gecikme (ms)	12,4964	6,1114	4,8315	8,7624
En Yüksek Gecikme (ms)	27	18	11	27
Paket Sayısı	45428	41744	15000	102172
Ortalama SINR (dB)				28,246

6. SONUÇLAR

6.1 Elde Edilen Kazanımlar ve Fikirler

Bu tez çalışmasında frekans atlama kullanılan telsiz ağlarda;

1. Gruplanmış Kullanıcılar Arası Girişimi En Aza İndirecek Biçimde Frekans Tahsisi
2. Rastgele Konumlanmış Kullanıcıların Bulunduğu Tasarsız Ağda Veri Hızını En Büyükleyecek Biçimde Öbekleme
3. Öbeklenmiş ve Frekans Tahsisi Yapılmış Kullanıcılar Arasında Veri Trafığı ve Yönlendirme

olmak üzere üç problem ele alınmıştır.

Birinci problem olan frekans tahsisi bölümünde çalışmaların en başında kullanıcıların çevrimler halinde dağınık bir arazide bulunduğu durum için merkezi bir birim var gibi genel bilgiye dayalı frekans tahsisi algoritması gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmanın başarılı sonuçlar vermesine karşın dağınık olarak uygulanabilirliği zor olduğundan kullanıcıların sadece komşu kullanıcı hakkında bilgi sahibi olduğu dağınık olarak uygulanabilen yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi önerilmiştir ve genel bilgiye dayalı frekans tahsisi algoritması karşısında test edilmiştir.

Öbekleme çalışmanın başında düşünülmemiştir. Kullanıcıların çevrimler halinde arazide bulunacağı fikrinden yola çıkılmıştır. Ancak yapılan literatür analizi sonrasında çevrim yapısı kullanmak yerine öbekleme algoritmasının kullanılabilmesi fikrini oluşturmuştur. Bu fikir ağın tamamen tasarsız bir ağ olarak kabul edilmesini sağlamıştır. Bu konuda yapılan çalışmalarda öbeklemenin, çevrim yapısına göre

daha avantajlı olduğu sonucunu çıkartmıştır. bekleme probleminin çözüm için biri denektaşı diğerisi ise dağıtık olarak uygulanabilen iki adet çözüm önerilmiştir.

Çalışmanın son kısmında ise Öbeklenmiş ve öbeklere frekans tahsisi yapılmış tasarsız bir ağ için ZBE kullanılan gerçekçi bir trafik modeli önerilmiştir. Bu trafik modeli ile denektaşı algoritmalar karşısında dağıtık olarak uygulanabilen önerilen algoritmaların başarımları incelenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmaların matematiksel özömlerinin yapılması ve sonuçların gösterilmesi için MATLAB kullanılmıştır. Bunun yanı sıra denektaşı olarak kullanılan bir en iyileme problemi olan bekleme problemi MATLAB üzerinde oluşturulan verilerin GAMS kullanımıyla özölmüştür.

6.2 Gelecekte Yapılabilecek alışmalar

Bu çalışmaya gelecekte dağıtık olarak uygulanabilen bir yol atama algoritması eklenebilir. Bu algoritma eklendiği takdirde kısmi dağlık bir bölgeye rastgele dağıtılmış belirli sayıdaki düğüm dağıtık olarak uygulanabilen önerilen bekleme algoritması, ve yerel bilgiye dayalı frekans tahsisi algoritması üzerine yönlendirme yapılabilir merkezi kontrol tamamen ortadan kaldırılarak sistem dağıtık olarak talebe cevap verebilir. Ayrıca düğümlerin hareketli olması problemi daha da zorlaştırmasına rağmen çok daha gerçekçi bir model üzerinde çözüm yapılabilir. Önerilen algoritmaların belirli zaman aralıklarıyla tekrarlanmasıyla problem çözümü gerçekleştirilebilir.

Önerilen sistem modeli için bekleme ve frekans tahsisi algoritmaları sonucu QualNet gibi gerçekçi bir ağ benzetim programı üzerine aktarılarak daha gerçekçi veri tranfer benzetimleri elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] J. Graham, *Definition of a common formulation of military frequency assignment problems and the application of meta-heuristic algorithms*. PhD thesis, University of Glamorgan, 2005.
- [2] V. Estivill-Castro, “Why so many clustering algorithms: a position paper,” *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, vol. 4, no. 1, pp. 65–75, 2002.
- [3] J. MacQueen *et al.*, “Some methods for classification and analysis of multivariate observations,” in *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, vol. 1, pp. 281–297, California, USA, 1967.
- [4] A. A. Abbasi and M. Younis, “A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks,” *Computer communications*, vol. 30, no. 14, pp. 2826–2841, 2007.
- [5] O. Younis and S. Fahmy, “Heed: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 3, no. 4, pp. 366–379, 2004.
- [6] H. Q. Ngo, Y.-K. Lee, and S. Lee, “Mepa: A new protocol for energy-efficient, distributed clustering in wireless sensor networks,” in *Wireless Communication Systems, 2007. ISWCS 2007. 4th International Symposium on*, pp. 40–44, IEEE, 2007.
- [7] A. M. Youssef, M. F. Younis, M. Youssef, and A. K. Agrawala, “Distributed formation of overlapping multi-hop clusters in wireless sensor networks,” in *GLOBECOM*, 2006.

- [8] S.-E. Wei, H.-Y. Hsieh, and H.-J. Su, “Joint optimization of cluster formation and power control for interference-limited machine-to-machine communications,” in *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012 IEEE*, pp. 5512–5518, IEEE, 2012.
- [9] M. Chatterjee, S. K. Das, and D. Turgut, “An on-demand weighted clustering algorithm (wca) for ad hoc networks,” in *Global Telecommunications Conference, 2000. GLOBECOM’00. IEEE*, vol. 3, pp. 1697–1701, IEEE, 2000.
- [10] M. Chatterjee, S. K. Das, and D. Turgut, “Wca: A weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks,” *Cluster Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 193–204, 2002.
- [11] D. Turgut, S. K. Das, R. Elmasri, and B. Turgut, “Optimizing clustering algorithm in mobile ad hoc networks using genetic algorithmic approach,” in *Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM’02. IEEE*, vol. 1, pp. 62–66, IEEE, 2002.
- [12] Y. Zhang, J. M. Ng, and C. P. Low, “A distributed group mobility adaptive clustering algorithm for mobile ad hoc networks,” *Computer Communications*, vol. 32, no. 1, pp. 189–202, 2009.
- [13] E. Sakhaee and A. Jamalipour, “A new stable clustering scheme for pseudo-linear highly mobile ad hoc networks,” in *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM’07. IEEE*, pp. 1169–1173, IEEE, 2007.
- [14] G. Kilic and T. Girici, “Clustering in cellular m2m communications,” in *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014 22nd*, pp. 1662–1665, IEEE, 2014.
- [15] H. Olofsson, J. Naslund, and A. Skold, “Interference diversity gain in frequency hopping gsm,” in *Vehicular Technology Conference, 1995 IEEE 45th*, vol. 1, pp. 102–106, IEEE, 1995.
- [16] C.-J. Chang and C.-H. Wu, “Optimal frame pattern design for a tdma mobile communication system using a simulated annealing algorithm,” *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 42, no. 2, pp. 205–211, 1993.

- [17] J. N. Moon, L. A. Hughes, and D. H. Smith, "Assignment of frequency lists in frequency hopping networks," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 3, pp. 1147–1159, 2005.
- [18] P. Björklund, "Applications of resource optimization in wireless networks," 2006.
- [19] Y.-H. Lee, H.-W. Tseng, C.-Y. Lo, Y.-G. Jan, L.-P. Chin, T.-C. Song, and H.-I. Hsu, "Using genetic algorithm with frequency hopping in device to device communication (d2dc) interference mitigation," in *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), 2012 International Symposium on*, pp. 201–206, IEEE, 2012.
- [20] S.-H. Lee and Y.-H. Lee, "Adaptive frequency hopping for bluetooth robust to wlan interference," *Communications Letters, IEEE*, vol. 13, no. 9, pp. 628–630, 2009.
- [21] P. K. Lee, "Joint frequency hopping and adaptive spectrum exploitation," in *Military Communications Conference, 2001. MILCOM 2001. Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE*, vol. 1, pp. 566–570, IEEE, 2001.
- [22] I. Devarenne, A. Caminada, H. Mabed, and T. Defaix, "Adaptive local search for a new military frequency hopping planning problem," in *Applications of Evolutionary Computing*, pp. 11–20, Springer, 2008.
- [23] X.-g. Yuan and G.-c. Huang, "Frequency assignment in military synchronous fh networks with cosite constraints," in *Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, 2008. KAM Workshop 2008. IEEE International Symposium on*, pp. 655–658, IEEE, 2008.
- [24] N. Baldo and L. Giupponi, "An evaluation of cognitive channel allocation strategies for coalition deployments," in *MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2010-MILCOM 2010*, pp. 1436–1441, IEEE, 2010.
- [25] N. G. I. Agency, "NGA Raster Roam." http://geoengine.nga.mil/muse-cgi-bin/rast_roam.cgi. [Online; Erişim 20-Ekim-2014].

- [26] E. W. Dijkstra, “A note on two problems in connexion with graphs,” *Numerische mathematik*, vol. 1, no. 1, pp. 269–271, 1959.
- [27] W. Forum, “Wimax systems evaluation methodology v2,” 2008.
- [28] 3GPP, “Technical specification group radio access network,” 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KILIÇ, Gökhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 29.04.1989 Niğde
Medeni hali : Bekar
Telefon : +90 555 861 81 99
Faks : +90 312 292 41 80
e-mail : gokhan.kilic.89@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	TOBB ETÜ	2014
Lisans	TOBB ETÜ	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2014	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Tam Burslu Öğrenci
2014- . . .	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Proje Burslu Öğrenci

Yabancı Dil

İngilizce (Çok iyi)
Almanca (Orta)

Yayımlar

- G.Kilic,T.Girici, Hücresel Makinadan Makinaya İletişimde Öbikleme (Clustering in Cellular M2M Communications), *IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2014)*, Trabzon/ Türkiye, 23-25 Nisan 2014.