

ÇOKLU IŞINLI UYDULARDA KAYNAK AKTARIMI

SAMİ DENİZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

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

TEMMUZ 2010

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver KAYNAK
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet Önder EFE
Anabilim Dalı Başkanı

Sami DENİZ tarafından hazırlanan ÇOKLU İŞİNLİ UYDULARDA KAYNAK AKTARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan :Yrd. Doç. Dr. Ayşe Melda YÜKSEL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tolga GİRİCİ

Üye : Doç. Dr. Bülent TAVLI

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 atf yapıldığını bildiririm.

Sami DENİZ

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Temmuz 2010

Sami DENİZ

ÇOKLU IŞINLI UYDULARDA KAYNAK AKTARIMI

ÖZET

Bu tez çalışmasında çoklu ışınli uydularda kaynak aktarımı üzerinde durulmuştur. Çoklu ışınli uydular belli bir güç ve bant genişliği kullanarak yeryüzüne dar ışınlardan oluşan bir ışın demeti iletirler. Klasik uydulara nazaran yeryüzünde çok daha dar bölgelere odaklanarak sinyal-gürültü oranını arttırır ve veri iletişiminde birçok fayda sağlarlar. Yer istasyonlarındaki donatımların daha düşük maliyetli olmasında faydalı olurlar. Çoklu ışınli uydular tarafından iletilen ışın demetlerinin aydınlatıldığı yüzeylere hücre denilmektedir. Odaklanma sayesinde aynı frekanslar hücrelerde tekrar tekrar kullanılarak sistem kapasitesi artar. Bu tarz uydularda kaynak aktarımının amacı kullanıcılara değişen trafik durumlarına göre en iyileme yapmak ve kullanıcılar arasında adilliğin muhafaza edilmesini sağlamaktır. Bu tez çalışmasında çoklu ışınli uydularda literatürdeki kaynak tahsis çalışmalarından, güç aktarımı için gerekli kısıtlardan, Lagrange çarpanlarına dayalı en iyi güç aktarımından bahsedilmiştir. Bunun yanında en iyiye yakın açgözlü algoritmalar geliştirilmiştir. Açgözlü algoritmalar ile Lagrange yönteminin başarımları kıyaslanmıştır. Uygulamalar, Ka bandında yapılmıştır. Ayrıca Ka bandında çalışan çoklu ışınli uydularda görülen kanal bozulmalarının nedenleri belirtilmiştir. Çoklu ışınli ve faz dizilimli antenler ile çalışan uyduların özellikleri açıklanmıştır. Ka bandında çalışan çoklu ışınli uydularda görülen kanal bozulmalarına neden olan yağmur ve parlama sönümlenmeleri uygulamalarda gerçekleştirilmiştir. Çoklu ışınli ve faz dizilimli antenlere sahip uydularda ışınlar arası girişim olan durum için de kaynak tahsisi algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile literatürdeki yöntemin başarımları kıyaslanmıştır ve başarımın arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeleri: Çoklu Işınli Uydular, Kaynak Aktarımı, Güç Aktarımı, Faz Dizilimli Antenler, Çoklu Işınli Uydu Antenleri

University : TOBB Economics and Technology University
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Electrical and Electronics Engineering
Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Degree Awarded and Date : M.Sc. – July 2010

Sami DENİZ

RESOURCE ALLOCATION IN MULTIBEAM SATELLITES

ABSTRACT

In this thesis resource allocation in multibeam satellites is studied. The multi-beam satellites transmit narrow beams using the available power and bandwidth. Multi-beam satellites provide many benefits in data communication by focusing on narrow surfaces on the earth. They are useful for lowering the cost of the earth station's equipments. The surfaces on the earth which are illuminated by the transmitted beams are called cells. The system capacity increases by reusing the same frequencies in multiple cells. The purpose of the resource allocation in multi-beam satellites is to allocate power and beams optimally according to the users' traffic situation and channel conditions and to maintain the fairness among the users. In this thesis, previous studies on resource allocation in Multi-beam Satellites, and convex optimization for the optimal power allocation is discussed. Some greedy algorithms that are near-optimal are developed. The performances of the greedy algorithms and the Lagrange multiplier-based algorithm are compared. The rain and scintillation fadings that are the major channel problem in the Ka-bands are applied during the simulations. For this purpose atmospheric channel impairments in the Ka-band are also indicated. The characteristics of the multi-beam satellites, which have multi-beam satellite and phased array antenna are described. Resource allocation algorithms for the multi-beam satellite antennas proposed in the inter-beam interference situation and the system performance is investigated. The interference model in the literature for phased array satellite is applied. The performance of the algorithm in the literature and the algorithm that we proposed are compared.

Keywords: Multi-beam Satellites, Resource Allocation, Power Allocation, Phased Array Antenna, Multi-beam Satellite Antenna

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca göstermiő olduğu güven, sunduğu çalışma ortamı, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Tolga Girici'ye yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğretim üyelerine,

Bu günlere gelmemde katkısı olan büyüklerime, arkadaşlarıma, özellikle desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen teyzeme ve her şeyden önemlisi her koşulda beni destekleyen ve bana güvenen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xiii
1. Giriş	1
1.1. Uyduların Gelişimi ve Tarihi Gelişimi	2
1.2. Uyduların Yapısı	2
1.3. Uyduların Dünyaya Uzaklıklarına Göre Sınıflandırılması	6
1.4. Uyduların Haberleşmesinde Kullanılan Frekans Bantları ve Kullanıldığı Servisler	7
1.5. Ticari Haberleşme Uyduları	9
1.5.1. 1.Nesil Uydular	9
1.5.2. 2.Nesil Uydular	10
1.5.3. 3.Nesil Uydular	10
1.6. Uyduların Ülkemizdeki Gelişimi	11
1.7. Çoklu Işınlı Uydular ve İlgili Literatür Çalışmaları	12
1.8. Uyduların Ağları, Kaynak Aktarımı ve İlgili Literatür Çalışmaları	13
1.9. Uyduların Kanal Bozulmalarının Sebepleri	17
1.10. Tez İçeriği	19

2. Ka Bandı Uydu Kanal Modelleri	21
2.1. Uydularda Kanal Bozulmalarının Sebepleri	21
2.1.1. Yol Kaybı	21
2.1.2. Yağmurların Sebep Olduğu Zayıflama	22
2.1.3. Parlama	23
2.1.4. Sis ve Bulutların Sebep Olduğu Sinyal Zayıflaması	24
2.1.5. Atmosferik Gazlar	24
2.1.6. Çok Yollu Sönümlenme	24
2.1.7. Depolarizasyon	25
2.2. Uydulardaki Ulaşılabilen Veri Hızı	25
2.3. Uydulardaki Sinyal Gecikmeleri	26
2.3.1. Gidiş-Geliş Gecikmeleri	26
3. Çoklu Işınlı ve Faz Dizilimli Anten Yapıları ve Girişim	28
3.1. Çoklu Işınlı Antenler	28
3.1.1. Işın Demetleri Arasındaki Girişim ve Literatürde Uygulanan Çalışmalar	29
3.2. Faz Dizilimli Antenler	30
4. Çoklu Işınlı Uydularda Kaynak Tahsis Yöntemleri	34
4.1. Güç ve Anten Kazancının Beraber Tahsisi	34
4.2. Kuyruğa Dayalı Güç ve Işın Tahsisi	35
4.3. Çoklu Işınlı Uydu Sistemlerinde Uyarlanırlık Kiplenme ve Kodlama	35
4.4. Çoklu Işınlı Mobil Uydu Sistemlerinde Uyarlanırlık Kaynak Tahsisi	36
4.5. Çoklu Işınlı Uydularda Güç Tahsisi	37
4.5.1. Dış Bükey En İyileme	38
4.5.2. İkili Arama Algoritması	42
4.6. Faz Dizilimli Antenlerde Güç ve Işın Tahsisi	43

5. Çoklu Işınlı Uydularda Kaynak Tahsisi	48
5.1. Bazı Ön Değerlendirmeler	49
5.2. Geliştirilen En İyiye Yakın Algoritmalar	50
5.2.1. Amaç Fonksiyonunu En Çok Azaltan Yöntem	51
5.2.2. Kanal Kazancı Orantısı Yöntemi	52
5.2.3. Kanal Ters Orantısı Yöntemi	53
5.2.4. Güç Orantısı Yöntemi	53
5.2.5. Benzetim Sonuçları	54
5.3. Komşu Işınlarda Arasında Girişim	59
5.3.1. Benzetim Sonuçları	61
5.4. Sonuçlar	64
6. Faz Dizimli Antenlerde Kaynak Tahsisi	65
6.1. Faz Dizimli Antenler için Işın Tahsisi	66
6.2. Benzetim Sonuçları	67
7. Sonuçlar ve Yorumlar	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünyaya Uzaklıklarına Göre Uyduların Sınıflandırılması	7
Çizelge 1.2. Uydu Haberleşme Sisteminde Kullanılan Frekans Bantları	7
Çizelge 5.1. Sistem Parametreleri	54
Çizelge 6.1. Uygulamada Kullanılan Sistem Parametreleri	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1.1. Uydu İzleme Telemetrik Ölçüm,Kumanda ve Gözetim Bölümü,[4].....	5
Şekil 1.2. Temel Bir Uydu Ağ Sistemi, [5].....	16
Şekil 3.1. Çoklu Işınlı Antenleri Gösteren Blok Şema, [41].....	28
Şekil 3.2. Işın Demetleri Arasındaki Kenar Lobların Oluşturduğu.....	
Girişim	30
Şekil 3.3. Faz Dizilimli Antenlerin Blok Şeması, [41].....	31
Şekil 3.4. Faz Dizilimli Anten Yüzeyinden Yer Uzayındaki Kullanıcılara Aktarılan Sinyaller, [41].....	32
Şekil 4.1. (a) Tek Bir En İyi Değere Sahip Tek Doruklu Şekil , [30]	40
Şekil 4.1. (b) İki Genel En İyi Değere Sahip Çift Doruklu Şekil, [30]	40
Şekil 4.2. $f(P_i, \Lambda)$ ve P_i grafiği, [30].....	42
Şekil 4.3. Uydu Sunucusunda Kuyrukta Biriken Veri ve İletilen Veri Parametreleri.....	45
Şekil 5.1. Talebi F_i olan i. Hücreye Uydu Tarafından Sağlanan Kapasite C_i	48
Şekil 5.2. Lagrange Yöntemi Sonucu Elde Edilen $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ ile F grafiği.....	49
Şekil 5.3. $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ ile Toplam Güç Grafiği	50
Şekil 5.4. Toplam Talebi 200 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının	
Kıyaslanması	55
Şekil 5.5. Toplam Talebi 400 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının	
Kıyaslanması	56
Şekil 5.6. Toplam Talebi 600 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının	
Kıyaslanması	57
Şekil 5.7. Toplam Talebi 800 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının	
Kıyaslanması	58
Şekil 5.8. Uygulamada Kullanılan Altıgen Işın Demeti Komşuluk Yapısı.....	60
Şekil 5.9. Başarım-Zaman Dilimi Uzunluğu Grafiği	62

Şekil 5.10.Toplam Talebi 400 Mbps olan Girişim Ortamında Geliştirilen Girişim Yöntemi ile Girişim Olmayan Ortamda Geliştirilen Yöntemlerin Başarımlarının Kıyaslanması	63
Şekil 6.1.Kullanıcıların Dağılımı	68
Şekil 6.2.Önerilen Algoritma ile [41]'de belirtilen Algoritmanın Karşılaştırılması ..	71

KISALTMALAR

Kısaltmalar Açıklama

GEO	Yer Uyumlu Uydu
LEO	Alçak Yörüngeli Uydu
MEO	Orta Yükseklikteki Uydu
SMS	Kısa Mesaj Servisi
MMS	Çoklu Ortam Mesaj Servisi

1. GİRİŞ

Veri iletişiminin sınırsız olduğu günümüzde uydular sayesinde her an evimizde, arabamızda veya gemi ile farklı bir ülkeye seyahat ederken haberleşme sağlamaktayız. Uydular, her an her yerde Internet bağlantısı sağlayabilen haberleşme araçlarıdır. Günümüz uydularının çoklu ışınlarla veri sağlaması sayesinde bant genişliği verimli kullanılmakta ve sinyal gürültü oranı artmaktadır. Bu teknoloji talep gören ve üzerine akademik araştırmalar yapılan, geleceği olan bir teknolojidir. Çoklu Işınlı uydulardan yeryüzündeki kullanıcılara kaynak (güç, ışın) aktarmak için mevcut problemlere en iyi sonuçlar bulan yöntemler geliştirilmektedir.

Bu bölümde uydu sistemleri ve tarihi gelişimine, uyduların yapısına, dünyaya uzaklıklarına göre sınıflandırılan uydulara, uydu haberleşmesinde kullanılan frekans bantlarına ve kullanıldığı servislere, ticari haberleşme uydularına, uydu sistemlerinin ülkemizdeki gelişimine değinildikten sonra çoklu ışınlı uydulardan bahsedilecek ve bu konu hakkındaki literatür çalışmaları vurgulanacaktır. Daha sonra uydu ağlarından ve kaynak aktarımından, uydulardaki kanal bozulmalarının sebeplerinden ve uydulardaki sinyal gecikmelerinden bahsedilecektir.

Kara, hava ve deniz taşıtları ile geniş bantlı ve güvenilir bir iletişim sağlamanın yolu uydular tarafından gerçekleşir [1]. Karasal hatlar tarafından sadece karasal iletişim sağlanırken, telsizler ise hava koşullarına bağlı olarak bant genişliğinde kısıtlamalar yaratır [1]. Uydu sistemlerinin amacı daha yüksek kapasiteli daha hızlı ve daha düşük maliyetli sistemler oluşturmaktır. [1]

Nüfus yoğunluğunun az olduğu bölgelerde, okyanuslarda, havada karasal altyapının uygun olmadığı ya da uygulamalarının çok pahalı olduğu bu tarz bölgelerde en büyük avantajı mobil kullanıcılara servis sağlayabilmesidir [2]. Uydular, dünyanın birçok alanına ses ve veri haberleşmeleri sağlar [2]. Örneğin Amerika'da kent merkezlerinin uzağında ve kırsal alanlarda yaşayanlar DirecTV ve EchoStar ve HughesNet (Son zamanlarda DirecWay olarak isimlendirilmiştir) uydular sayesinde TV'ye ve internete erişim sağlayabilmektedirler [2].

1.1. Uydu Sistemleri ve Tarihi Gelişimi:

Amerikalı bir rahip olan Everett Hale tarafından gökyüzüne yerleştirilen bir uzay gemisi sayesinde okyanustaki gemilere yardımcı olunabileceği düşüncesi ile uydu yapma fikri ortaya atılmıştır [1]. Fikir, 1896 yılında doğmuştur. Küresel anlamda uydular ile iletişim fikrini ilk defa 1945 yılında İngiliz bilim adamı ve yazar Arthur J. Clarke ortaya koymuştur [1]. Sputnik-1'in uzaya fırlatılması ile uydu alanında ilk somut gelişmeler yaşanmıştır [1]. İlk yörüngesel uydu aracıdır. Sovyetler Birliği tarafından 1957 yılında yollanmıştır [3]. Bu uydu ile Amerika ile Sovyetler Birliği arasındaki uydu yarışı başlamıştır. Sputnik-1 atmosfer tabakalarındaki yoğunlukların belirlenmesinde yardımcı olmuştur. Sputnik-2 ise 3 Kasım 1957 yılında Laika adında ilk köpek ile uzaya fırlatılmıştır. Uzaya gönderilen ilk canlıdır [3]. Daha sonraki ikinci büyük adım Nasa'nın yürüttüğü Score projesi kapsamında Explorer-1 uydusunun yörüngeye yerleştirilmesi ile olmuştur [1]. Amerika'nın ilk uydusudur. 1958 yılında gerçekleşmiştir [1]. İlk uydular askeri amaçlı uydulardır. Bu uydular, ticari uyduların gelişmesinde öncü olmuşlardır[1]. İlk televizyon haberleşmesi ve televizyon yayını uydu üzerinden 1962 yılında Echo-1 uydusu ile gerçekleşmiştir [3]. Avrupa tarafından ilk uydu Esro-2B uydusudur [3]. Avrupa Uzay Araştırma Örgütünün kısaltmasıdır. X-ışınlarının algılanması için gönderilmiştir [3].

1.2. Uyduların Yapısı

Uydular Uzay Bölümü ve Yer Bölümünden oluşurlar. Bu bölümler ile bölümleri oluşturan alt bölümler aşağıda belirtilerek kısaca açıklanır [4].

a. Uzay Bölümü: Yörüngesinde bulunan uydu ile yer istasyonundan oluşmuştur. Yer istasyonunda uzaktan ölçüm yani hava sıcaklığının, hava basıncının ölçümü gibi, ayrıca uydunun izlenmesi, gözetlenmesi gibi faaliyetler yapılır. Uydu gözetlenmesi sistemin doğru ve uygun çalışmasını denetlemek içindir. Uzay bölümü Bus ve Payload kısmından oluşur. Bus ve Payload bölümlerinden şu şekilde bahsedebiliriz.

1.Bus: Uydu üzerindeki alt sistemler bu yapı tarafından taşınır. Bu bölüme bağlı alt sistemler şunlardır. Uydunun Fiziksel Yapısı, Güç Alt Sistemi, Duruş ve Yörünge

Kontrol Alt Sistemi, Isı Kontrol Alt Sistemi, İzleme¹, Uzaktan Ölçüm², Kumanda³ ve Gözetim⁴ Alt Sistemidir

1a. Uydunun Fiziksel Yapısı: Bu bölümde uydunun dengede tutulması ve antenlerin yeryüzüne bakması sağlanır. Uydunun fiziksel yapısı kararlılık yöntemleri kullanılarak dengede ve istenilen yörüngede tutulur. Jiroskobik kararlılık⁵, 3 eksenli kararlılık⁶ gibi yöntemler ile uydu dengede tutulur. Jiroskobik kararlılık yönteminde uydu kendi kütle merkezi etrafında döner. GEO uydularının dönme eksenini dünyanın dönme eksenine paraleldir. 3 eksenli kararlılıkta uydunun yalpalama⁷ yani z eksenindeki açısı, yunuslama⁸ x eksenindeki açısı ve y eksenindeki sapma⁹ açıları dengelenir.

1b. Güç Sistemi: Uyduda bulunan sistemlerin çalıştırılması için gerekli olan elektrik bu yapı tarafından sağlanır. Güneş panelleri ve başarımları üst düzey olan pillerden oluşmuştur.

1c. Duruş Kontrol¹⁰ Alt Sistemi: Güneş, ay tarafından uygulanan çekim kuvvetlerinin neden olduğu problemler uydunun duruşunu etkiler. Dünya'nın manyetik alanı, güneş panelleri ve antenler uydunun duruşunu etkileyen diğer faktörlerdir. Uydunun yöneliminde bu sebeplerden dolayı problem varsa sensorler tarafından yer istasyonuna bilgi verilir.

1d. Yörünge Kontrol Alt Sistemi: Bu bölüm, uydunun bulunduğu enlem ve boylam bilgilerini içerir. Ay ve güneş çekim kuvvetleri uydunun boylam bilgilerinde farklılık gösterir. Ayrıca dünyanın tam küresel olmayan özellikleri uydunun enlem ve boylam bilgilerinde farklılık gösterir. Enlem ve boylam koordinatları ± 1 derece oynayabilir.

¹ İng. *Tracking*

² İng. *Telemetry*

³ İng. *Command*

⁴ İng. *Monitoring*

⁵ İng. *Spin Stabilization*

⁶ İng. *3-axis Stabilization*

⁷ İng. *roll*

⁸ İng. *pitch*

⁹ İng. *yaw*

¹⁰ İng. *Altitude Control*

1e. Isı Kontrol Alt Sistemi: Uydunun üzerindeki donatılar¹¹ ısı yayar. Uydudaki ısı kontrolü için birçok fiziksel araçlar kullanılır. Termik kalkan¹² ve şilte tarzında ısı izolasyonlarından¹³ faydalanılır. Çok fazla ısıdan korunmak için elektronik alt sistemlere ışıma aynaları¹⁴ yerleştirilir. Güçlendiricilerden çıkan ısıları depolamak için de ısı pompaları¹⁵ kullanılır. Bununla birlikte ortamdaki yeterli ısının sağlanması için termal ısıtıcılar kullanılır.

1f. İzleme, Uzaktan Ölçüm, Kumanda ve Gözetim (TTC ve M): Uydunun yörüngesinde tutulması için gereken komutların işlendiği yerdir. Uzay bölümünde anten, kumanda alıcısı, izleme sensorleri ve uzaktan ölçüm vericisi bulunur. Uydudaki diğer alt sistemlerden telemetrik veriler (güç, durum kontrolü, termal kontrol gibi) alınır ve yer istasyonuna gönderilir. İzleme bölümü uydunun o anki yörüngesi, pozisyonu ve hareketini izler. Hız ve ivme sensorleri yörünge gözetiminden ve yörüngedeki değişikliklerden sorumludur. Telemetrik ölçümler ise güç alt sisteminden gelen genlik ve akım bilgileri ile diğer alt sistemlerdeki sıcaklık bilgileri ve duruş kontrolü ile ilgili sensor bilgileridir. Telemetri bağlantısında sensor bilgileri için 100 kanal mevcuttur. Genel olarak sayısal formda iletilir. Yer istasyonundaki telemetrik alıcı, kumanda vericisi, izleme alt sistemleri bulunur. Kumanda bölümü ise bilgileri yer istasyonundan uyduya iletir. Uydudan alınan telemetrik bilgilere cevap karşılığındadır. Transponderın çalışma durumu, pil, genlik kontrolü ve güvenlik kumanda bölümü tarafından sağlanır. Güvenlik bağlantısı şifreli bir şekilde yapılır.

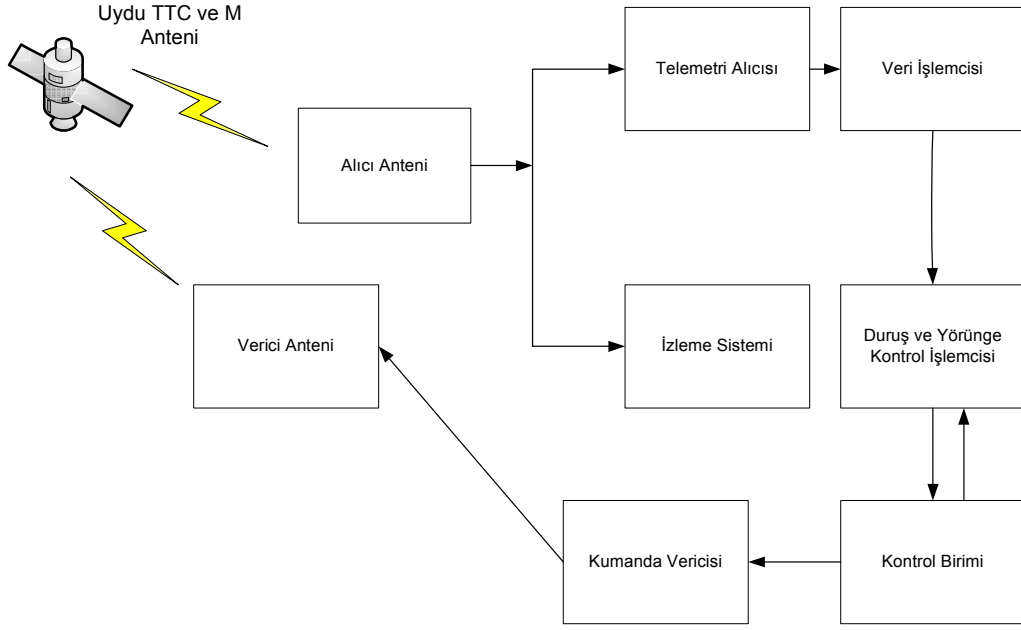
¹¹ İng. *Equipment*

¹² İng. *Thermal Shields*

¹³ İng. *Thermal Blanket*

¹⁴ İng. *Radiation Mirror*

¹⁵ İng. *Heat Pumps*



Şekil 1.1. Uydunun İzleme, Telemetrik Ölçüm, Kumanda ve Gözetim Bölümü [4]

2. Payload: Uydunun üzerinde servis sağlayan kısımlarını oluşturur. Bu kısım anten ve transponder alt bölümlerinden oluşur.

2a. Anten Sistemi: Radyo frekansı sinyallerini hem ileten hem de alan kısımdır. Uydularda kullanılan antenler şunlardır. Dipol¹⁶ Anten, Huni¹⁷ Anten, Parabolik Yansıtıcı Antenler¹⁸ ve Dizilim Antenleridir¹⁹. Huni antenler yaklaşık 4 Ghz ve üzerindeki frekanslar için kullanılır. Yaklaşık 10 Ghz frekanslar için parabolik yansıtıcı antenler kullanılır. Huni antenlere göre daha fazla kazanç sağlarlar. Işın demeti biçimlendiren antenlerden olan dizilim antenleri günümüzde daha çok kullanılmaya başlamıştır. Bu antenler sayesinde ışın demetlerinin şekil ve biçimlerinde değişiklikler yapılabilir. Faz Dizilimli antenler bu tarz antenlerdendir. Biz bu çalışmamızda Ka-bandı (>20GHz) iletimini ele aldığımız için parabolik yansıtıcı çoklu ışın antenleri ve faz dizilimli antenlere sahip uydular varsayacağız.

¹⁶ İng. *Dipole*

¹⁷ İng. *Horn*

¹⁸ İng. *Parabolic Reflector Antenna*

¹⁹ İng. *Array Antenna*

2b. Transponder: Alıcı antenine gelen sinyali filtreleyen bölümdür daha sonra sinyali güçlendirir ve yer terminaline gerekli görülen frekans ile iletir. Uydular taşıdıkları yüklerinde birkaç transponder bulundururlar. 2 değişik türde transponder vardır [5]. Dirsekli boru tarzında transponderlar ve yenileyen transponderlardır [5].

Dirsekli boru tarzındaki transponderlar²⁰: Basit bir güçlendirici gibi davranırlar. Yani gelen sinyali kuvvetlendirir ve tekrar iletir. Sinyalin gürültüye oranında herhangi bir gelişme mevcut değildir.

Yineleyici Transponderlar²¹: Gelen veriyi demodüle ederek yani gelen taşıyıcı sinyalindeki geçek veriyi alır ve üzerindeki kodlamayı açar yani şifre çözer. Çoklu ışınli uydu antenleri olduğunda ışın demeti anahtarlaması ve yönlendirme yapar.

1.3. Uyduların Dünyaya Uzaklıklarına Göre Sınıflandırılması:

Dünyaya olan uzaklıklarına göre uydular sınıflandırılmaktadırlar. Kepler yasasında uydunun dünyaya uzaklığının 1.5 üssü uydunun dönme periyodu ile doğru orantılıdır. Buna göre dünyaya yakın olan uydular daha hızlı dönmektedirler [1]. Çünkü daha fazla yerçekimi kuvveti etkisine maruz kalırlar [1]. Uzak olanlar ise yavaş dönmektedirler. Uyduları buldukları yörüngelere göre şu şekilde sınıflandırırız [1].

a. Alçak Yörüngeli Uydular: Low Earth Orbit olarak adlandırılır.600-800 km yükseklikte bulunan uydulardır. Dünyaya en yakın uydulardır. Dünya yüzeyinde kapsadıkları alan dardır. Bu yüzden çok fazla uyduya ihtiyaç duyarlar. Iridium örnektir.

b. Orta Yükseklikteki Uydular: Medium Earth Orbit olarak adlandırılır.800 ila 36000 km arasındaki uzaklıkta bulunurlar. Bu yörüngede haberleşme uyduları bulunmamaktadır. GPS uyduları bulunur. GEO uydularına göre daha az güç ihtiyaçları vardır.

c. Yer Uyumlu Uydular: Geostationary Earth Orbit olarak adlandırılır.36000 km yükseklikte bulunan uydulardır. Bu uydular tarafından gönderilen ışın demetleri çok

²⁰ İng. *Bent Pipe Transponder*

²¹ İng. *Regenerating Transponder*

geniş alanları kapsayabilir. Ayrıca dünyadan çok uzakta oldukları için çok fazla güç ihtiyaçları vardır. Bu uydular tarafından L,S,C,Ka ve Ku bantları kullanılır.

Çizelge 1.1. Dünyaya Uzaklıklarına Göre Uyduların Sınıflandırılması

Uydu	Dönme Süresi	İletişim Süresi
LEO Uydusu	1.5-2 saat	5-20 dak.
MEO Uydusu	5-12 saat	2-4 saat
GEO Uydusu	24 saat	Devamlı

Alçak yükseklikteki uydular ile Orta Yükseklikteki uydular hareketli uydulardır. Yer İstasyonu ile iletişimlerinin kesilmemesi için diğer uydular ile değişiminin gerçekleşmesi gerekir Bu nedenlerden dolayı GEO uydularına göre yüksek maliyetlidir. Yer istasyonları ile iletişim süreleri Orta Yükseklikteki Uydulara göre çok kısadır [1]. Yer Uyumlu Uyduların dönme hızları dünyanın dönüş hızına eşittir [1]. Yeryüzündeki herhangi bir noktadan bakıldığında bu uydunun konumu sabittir [1]. Yer Uyumlu Uydular dünyaya uzak olmalarından ötürü sinyallerde kayıplar ve gecikmeler meydana gelir [1].

1.4. Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Frekans Bantları ve Kullanıldığı

Servisler:

Çizelge 1.2. Uydu Haberleşme Sisteminde Kullanılan Frekans Aralıkları

Frekans Bandı	Frekans Aralığı
L Bant	1-2 GHZ
S Bant	2-4 GHZ
C Bant	4-8 GHZ
X Bant	8-12 GHZ
Ku Bant	12-18 GHZ
K Bant	18-26 GHZ
Ka Bant	26-40 GHZ
V Bant	40-75 GHZ

Çizelge 1.1’de frekans bantları ve buldukları frekans aralıklarına değinilmiştir. Uydu haberleşmesinde frekans bantları farklı servisler için kullanılır. Bu servisler

kısaca Şu Şekildedir. Sabit Uydu Hizmetleri²², Yayın Hizmeti Sunan Uydular²³, Mobil Hizmet Sunan Uydulardır²⁴ [5].

a. Sabit Uydu Hizmetleri: 6/4 Ghz C bandı, 8/7 Ghz X bandı, 14/12 Ghz Ku bandı, 30/20 Ghz Ka bandı,50/40 ghz V bandına sahiplerdir. Sabit karasal terminallere sahiplerdir. Bunlar geniş bantlıdır. (1-200 mbit/s). Bu servisler GEO uydularına tahsis edilir. Fakat GEO olmayan sistemler için de kullanılabilir. Televizyon ve radyo yayını için ve de telefon hizmetleri için kullanılmaktaydı. 1970'lerden başlayarak Kuzey Amerika'da direk eve televizyon yayını sunmuştur. DirecTV uydusunun fırlatılması ile 1994 yılında yerini yayın hizmeti sunan uydular almıştır. Yayın hizmeti sunan uydular 2/2.2 Ghz S bandı, 12 Ghz Ku bandı, 2.6/2.5Ghz S bandına sahiplerdir. Geniş bantlı iletim gerçekleştirirler.

b. Mobil Hizmet Sunan Uydular: 1.6/1.5 Ghz L bandı, 30/20 Ghz Ka bandı için kullanılır. Örnek olarak gemiler, uçaklar, insanlar ve araçlara mobil iletişim sağlarlar. GEO uyduları karasal mobil servisler için kullanılır.

Karasal ağlardaki mobil internet servisleri nüfusun yoğun olduğu bölgelerde yaygındır [6]. Bu alanların dışında mobil internet servislerine yüksek bir talep bulunmaktadır [6]. Yüksek hız kullanarak kırsal alanlara ulaşan en verimli araç uydulardır [6]. Gelecekteki tahminlere göre mobil uydu sistemleri 1 Gbit/s kapasiteye sahip olacaklardır [6]. GEO uydularının daha az maliyetinden dolayı ileride kullanılabilirlerdir [6]. Mobil uydu sistemlerine atanan S bandı 35 Mhz gibi kısıtlı bir bant genişliğine sahiptir [6]. Bu yüzden yüksek seviyeli frekansın tekrar kullanımını sağlayan çoklu ışınlı uydu sistemlerinden faydalanmak gerekmektedir [6].

Genel olarak frekans bantları belirli alanlar için atanmıştır. L,S,C bantları dolmuştur [5]. X bandı hükümet haberleşmeleri için, Ku bandı sayısal yayın sağlayan uydu sistemlerinin çoğunda kullanılır [5]. Ku bandı 1970'lerin sonunda tanımlandı [7]. Yeterli bant genişliği sağlayamamıştır [7]. Artan talebe göre gereken kapasite

²² İng. *Fixed Satellite Service*

²³ İng. *Broadcasting Satellite Service*

²⁴ İng. *Mobile Satellite Service*

desteklenememiştir [7]. Bu gibi sorunlar Ka bandı frekansının tercih edilmesine yol açmıştır [7]. Ka bandı düşük boyutlu antenler ile yüksek bant genişlikleri verir [7]. Ancak kötü hava şartlarında sinyal bozulmalarına sebep olur [7]. En büyük dezavantajı yağmur sönümlenmelerinden etkilenmesidir. Ka bandında çalışmanın en büyük avantajı ise bant genişliğinin uygunluğu ve daha az maliyetli terminaller oluşturmasıdır [7]. Ayrıca Ka bandı gibi yüksek frekanslar yüksek kazançlı ve küçük genişliğe sahip ışın demetlerinin oluşmasında rol oynar [7].

Multimedya servislerine artan talep geniş bantlı ağların gelişmesine büyük katkıda bulunmuştur [7]. İnternet ve multimedya servislerinin acil olmasından dolayı hızlı veri iletişimi sağlamak için geliştirilmişlerdir [7]. Geniş bantlı multimedya servisleri genel olarak Ka bandında çalışırlar [7]. Gelecekteki geniş bantlı paket ağları kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillendirilecektir. Bunun için öncelikli olarak talep miktarı, bağlantı önceliği, servis kalitesi ve fiyat gibi özelliklerin düşünülmesi gerekir [2]. Biz de bu nedenlerle uygulamalarımızda Ka bandını kullandık.

1.5. Ticari Haberleşme Uyduları

Bu bölümde son yarım yüzyılda haberleşme uydularına örnekler verilmiştir. Daha çok Amerika'daki ticari uydulardan bahsedilir [2].

1.5.1. 1. Nesil Uydular

1.Nesil ticari uydular telefon ana hatları ve kıtalar arası televizyon iletimi için kullanılır. Yer istasyonları 15-30 metre çaplı büyük antenler ile donatılmıştır. İlk nesil uygulamaya örnek Intelsat uydusudur. 11 ülke tarafından oluşturulmuştur. 1965 yılında Intelsat-1 GEO yörüngesine fırlatılmıştır. Şu anki uygulamaları ses, veri iletişimi, finansal kayıtları tutmak, İnternet bağlantısı sağlamak ve video iletimi sunmaktır [8].

Avrupa'da Intelsat'a benzer Eutelsat 1983 yılında fırlatılmıştır. 23 uydu ile birlikte radyo, TV yayınları, geniş bantlı internet girişleri sunmaktadır [9].

1.5.2. 2. Nesil Uydular

2. Nesil uydular mobil kullanıcıları destekler. Mobil kullanıcılar gemiler, uçaklar ve karasal araçlardır. Immarsat örnek verilebilir. 1976 yılında Marisat adındaki sistem gemiler ve sahil istasyonlarında hizmete başlamıştır. Immarsat sisteminin amacı küresel bir güvenlik sağlamak ve okyanus üzerindeki gemilerde internet erişimi sağlamaktır. Ayrıca karasal altyapının olmadığı karasal araçlar ile uçaklara da hizmet sağlamıştır [2].

Immarsat Sistemi 1990 yılında Immarsat II olarak fırlatılmıştır. Çünkü gemilere sağlanacak olan servis ihtiyacını karşılamak için tasarlanmıştır. 1996 yılında ise Immarsat III uydusu fırlatılmıştır. Immarsat uydusu L bandında çalışan noktasal ışın demetlerinin istenilen kapsama alanlarını sağlaması için üretilmiştir. Şuanda 11 GEO uydusu ile çalışır telefon, faks ve veri iletişimi yapmaktadır [10].

1.5.3. 3. Nesil Uydular

1990 yılından bu yana uydu iletişiminin mobil haberleşmeleri desteklemesi için yoğun bir ilgi bulunmaktadır. Bu yüzden LEO ve MEO uyduları daha yüksek güç yoğunluğu ve daha kısa yayılım gecikmesi verdiklerinden dolayı tasarlanmıştır. 3. Nesil uydularda en önemli özellikler mobil ve ses haberleşmesini desteklemesi ve veri servislerine kolaylık getirmesidir.

Iridium uydusu 66 LEO uydusundan oluşmuş 780 km yüksekliğe sahiptir. Küresel ses ve veri iletişimi sağlar. Iridium LLC Mayıs 1998 yılında servise başlamıştır. Ağustos 1999 yılında iptal edilmiştir. Uydular arası bağlantılara sahiptir ve böylece her uydu komşu uydusu ile gerektiğinde haberleşebilir [2].

Globalstar tüm evreni kapsamak için 48 LEO uydusuna sahiptir. 1.414 km yüksekliktedir. Küresel telefon ve veri iletimi sağlar. 1999 yılının Ekim ayında servise başlamıştır. Şubat 2002'de iptal edilmiştir. Globalstar uydular arası

bağlantıya sahip değildir. Bu yüzden PSTN ağına yerdeki ağ geçidi²⁵ istasyonundan bağlanabilir [2].

Bölgesel uydular da bulunmaktadır. Asya Hücresel Uydu Sistemi 2004 yılının Eylül ayında servise başlamıştır. Güneydoğu Asya'da 24 ülkeye hizmet verir. Ayrıca Thuraya uydusu 2001 yılının Nisan ayında servise başlamıştır ve Kuzey Avrupa'ya, Afrika'ya, Orta Doğu'ya ve Hindistan gibi ülkelere hizmet sunar [2].

Teledesic 1990 yılında geniş bantlı veri iletişimi için servis vermiştir. Toplam 288 uydu ile 1.375 km yüksekliktedir. Ka bandı üzerinden yüksek hızlı internet erişimi sağlamak için tasarlanmıştır. 1999 yılının Ağustos ayında iptal edilmiştir [2]. Ayrıca SpaceWay geniş bantlı haberleşmeler için Ka bandı üzerinden yayın yapması için tasarlanmıştır. Yüksek çözünürlüklü televizyonlar için kullanılırlar. Ayrıca HughesNet üzerinden Internet erişimi sağlar. Daha sonra finansal problemlerden dolayı iptal edilmiştir [2].

XM ve Sirius gibi uydu radyoları da 3. Nesil uyduları içerir [2]. Uyduların karasal radyo istasyonlarına göre daha geniş kapsama alanları vardır [2]. XM'de 2 tane, Siruis'da 3 tane GEO uydusu vardır [2].

1.6. Uydu Sistemlerinin Ülkemizdeki Gelişimi:

Türkiye Eutelsat, Intelsat ve Inmarsat uydularına üyedir [1]. Intelsat'a üyeliğimiz 1973 yılında olmuştur. 1985 yılında Eutelsat'a üyeliğini gerçekleştirmiştir [1]. 1986 ve 1990 yılında bu uyduyu kullanmaya başladık [1].1989 yılında Inmarsat'a üyeliğimiz gerçekleşmiştir [1]. İlk kendi uydumuz Türksat-1A 24 Ocak 1994 yılında fırlatılmıştır fakat başarılı olunamamıştır [1]. 11 Ağustos 1994 yılında Türksat-1B uydusu fırlatılmıştır [1]. Bu uydu Fransız Aerospatiale firması tarafından yörüngeye yerleştirilmiştir [1]. Bununla beraber 6 Eylül 1996 yılında Türksat-1C uydusu fırlatılmış [1]. 11 Ocak 2001 yılında Türksat-2A uydusu yörüngeye yerleştirilmiştir [1]. Türksat-1B uydusunun kapsama alanları Türkiye, Orta Avrupa ve Orta Asya'dır [1]. Türksat-1C'nin kapsama alanları Türkiye-Avrupa ve Türkiye-Orta Asya'dır [1]. En son gönderdiğimiz Türksat 2A sayısal yayın özelliği ile internet özelliklerine

²⁵ İng. *gateway*

sahiptir [1]. İlk yer-gözlem uydumuz ise Bilsat uydusudur [11]. 27 Eylül 2003 yılında yörüngeye fırlatılmıştır [11]. Şehircilik, kaçak yapılaşma, çevre, ormancılık, haritacılık ve doğal afetlerin neden olduğu hasarlar Bilsat uydusu tarafından gerçekleştirilmiştir [11]. Bilsat uydusu pil hücrelerinden iki tanesinin ömrünü tamamlaması ile Ağustos 2006 yılında operasyonlarını tamamlamıştır [11]. Türkiye’de yapılacak olan yer-gözlem uydusu Rasat ise 2010 yılında uzaya gönderilecektir [11]. Şehircilik, tarım, ormancılık, afet izleme ve benzeri olaylarda kullanılacaktır [11].

1.7. Çoklu Işınlı Uydular ve İlgili Literatür Çalışmaları:

Noktasal ışın demetleri birçok avantaj sağlar [5]. Yer istasyonu donatılarının daha düşük maliyetli olmasında faydalı olurlar [5]. Çünkü dünyadaki daha dar yüzeyler aydınlatıldığında birim yüzeye daha çok güç düşer [5].

Bir uydunun kapsama alanı hücrelere bölünür. Bu hücrelerin her biri noktasal ışın demeti ile aydınlatılır [5]. Aynı frekanslar değişik hücrelerde tekrar kullanılabilirler [2]. Böylece sistemin toplam kapasitesi artırılır [2]. Bununla birlikte yüksek frekanslı bantlar(20 ghz ve ötesi)daha fazla veri sağlanması için tercih edilir [2]. Yüksek frekanslı bantlar düşük frekanslara göre daha dar noktasal ışın demetleri yayarlar. Örneğin 22000 mil uzaklıktaki GEO uydusunu ele alırsak uydunun verici anten çapı $D=10$ metre olsun $\lambda=0.015$ metre olursa en dar noktasal ışın demeti $\lambda*L/D$ ile bulunur [2]. Buradan 33 mil elde edilir [2]. Günümüzde ve gelecekte bu şekilde çok dar noktasal ışın demetleri kullanılacaktır [2].

Günümüzdeki ticari uydular, noktasal ışın demetleri sağlayan büyük kapasitelere sahip çoklu ışınlı uydulardır. Çoklu Işınlı uydular ile ilgili literatürde çalışmalar mevcuttur.

Çoklu ışınlı uydulara olan ihtiyacı anlatan Tanaka, Nakamura, Kawai ve Ohtoma’nın çalışmasında bahsedebiliriz. Bu sistemlerinin ekonomik olması ve güvenli iletişim ağı oluşturmasından dolayı uydu teknolojisinde önemli bir yere sahiptir [12]. Japonya’da ticari uydu sistemi 2 ileşim uydusu ile başladı.(CS-2a ve CS-2b uydu isimleridir) ve 1983 yılında fırlatılmıştır [12]. Ayrıca 1988 yılında CS-3a ve CS-3b

uydularında başarılı olunmuştur [12]. Bu sistemler tek ışınli iletişim teknolojisini kullanmışlardır [12]. Ayrıca Ka bandı ve C bandı kullanılmıştır [12]. Ancak yer istasyon antenlerinde ve kapasitesinde birçok kısıtlamalar mevcuttu [12]. Bu kısıtlamalardan dolayı birçok araştırma yapılmış ve yüksek kapasiteli çoklu ışınli uydu sistemleri oluşturulmuştur [12]. Çoklu Işınli Uydularda, büyük yerleşik antenler kullanılır ve ışın demetinin genişliği daraltılarak yer istasyonlarındaki akı güç yoğunluğu artırılır. Bu yüzden verimlidirler. [12]. Yükselmiş olan sinyal akı yoğunluğu iletişim kapasitesini artırır ve de yer istasyonun daha ekonomik olmasını sağlar [12]. Çalışmada çoklu ışınli uyduların en büyük avantajının iletişim kapasitesini arttırdığı ve frekansın ışın demetleri arasında tekrar kullanıldığından, yer istasyonunda ekonomik verimlilik sağladığından söz etmişlerdir.

Çoklu Işınli servis sistemlerinin avantajlarından bahsetmeyi sürdürebiliriz. Hücrelere toplam güç, ışın demeti ve bant genişliği tahsisi sağlayarak başarıyı artırma gibi özelliklere sahiplerdir [7]. Ayrıca bu tarz uydular çok fazla sayıdaki gelecek taleplerinin karşılanması için tasarlanırlar. [13]. Kent merkezlerinin çok fazla kapasite talep etmesi, nüfusun az olduğu bölgelerin kapasiteden faydalanmamasına neden olur [7-13]. Bu gibi sorunları gidermek için, kapasiteyi dağıtmak, gelirleri iyileştirmek için ihtiyaç duyulur[13].

Çoklu ışınli antenler tek ışınli antenlere göre çok daha karmaşıklardır [13]. Çoklu ışınli anten sabit veya uyarlanabilecek ışınlara sahiptir. Uyarlanabilen çoklu ışınli antenler kapasiteyi artırır [13]. Çoklu ışınli uydularda bazı örnekler anten tasarımlarını içerir [14-15].

1.8. Uydu Ağları, Kaynak Aktarımı ve İlgili Literatür Çalışmaları:

Uydu ağlarında kapasitesi değişen trafik durumlarında değişik başarımlarına göre en iyileme yapmak kaynak tahsisinin başlıca amaçlarındandır. Mesela bütün kullanıcılar arasında adilliğin muhafaza edilmesi gerekebilir. Son kullanıcılarıdaki servis kalitesi uydu ağının her bir katmanındaki servis kalitesine bağlıdır. Ağ iletişimini düzenleyen katmanlar Fiziksel katman²⁶, Veri Bağı Katmanı²⁷, Ağ

²⁶ İng. *physical Layer*

²⁷ İng. *Data Link Layer*

Katmanı²⁸, Taşıma Katmanı²⁹, Oturum Katmanı³⁰, Sunum Katmanı³¹ ve Uygulama Katmanıdır³² [5]. Bu yüzden bütün katmanların birbiri ile işbirliği içerisinde olması gerekmektedir [5]. Ağ katmanları hakkında aşağıda bilgi verilmiştir [16].

a.Fiziksel katman: Bu katmanın amacı göndermek istenen bitlerin kiplenip kodlanması ve iletilmesidir. Burada amaç bit hata oranının istenen seviyeye indirilip, her hava şartında iletişimin yürütülmesidir. Uydu kanalı çok uzun mesafeli ve kötü şartlara sahip olduğundan genellikle sabit ve düşük kipleme seviyeleri (ör. QPSK). DVB-S2 gibi yeni nesil haberleşme sistemlerinde kanala uyarlamalı kipleme de dahil edilmektedir.

b.Verî Bağı Katmanı: Amacı, iletişim ortamındaki hataların giderilmesini sağlamaktır. Hata sezen³³ ve hata düzelen³⁴ kodlamalar bu katmanda gerçekleştirilir. Bu şekilde Ağ katmanı için uygun bir ortam oluşturulur. Göndermek istediği veriyi veri çerçevesine bölerek ve her çerçeveyi sırasıyla ileterek uygular. Eğer bağlantı güvenilir ise alıcı her paketin doğru olarak alındığını alını çerçevesi göndererek bildirir. Uydu haberleşmesinde bu geri bildirim mantıklı değildir çünkü her iletimde 128msn gecikme olur. Bu nedenle güçlü kodlar kullanılarak çerçevelerin tek seferde iletilmesi amaçlanır.

c.Ağ Katmanı: Amacı, göndericiden alıcıya paketlerin yönlendirilmelerini sağlamaktır. Yönlendiriciler³⁵ bu ağda görev yapar. Her paketin gönderimi için rota tayini yapar. Eğer çok fazla sayıda paket alt ağda mevcutsa bunlar birbirlerinin yoluna çıkarak darboğaz (bottleneck) yaratabilirler. Bu gibi sıkışmaların önüne ağ katmanı geçer. Servis kalitesi yani gecikme, iletim zamanı, zamanda kaymalar v.s ağ katmanının görevidir. Ayrıca ağların birbirleri ile iletişim kurmalarını sağlar. Paket yönlendirmesi genellikle yer ağlarında karşımıza çıkar, yalnız Iridium'da uydular arası yönlendirme vardır.

²⁸ İng. *Network Layer*

²⁹ İng. *Transport Layer*

³⁰ İng. *Session Layer*

³¹ İng. *Presentation Layer*

³² İng. *Application Layer*

³³ İng. *Error Detection*

³⁴ İng. *Error Correction*

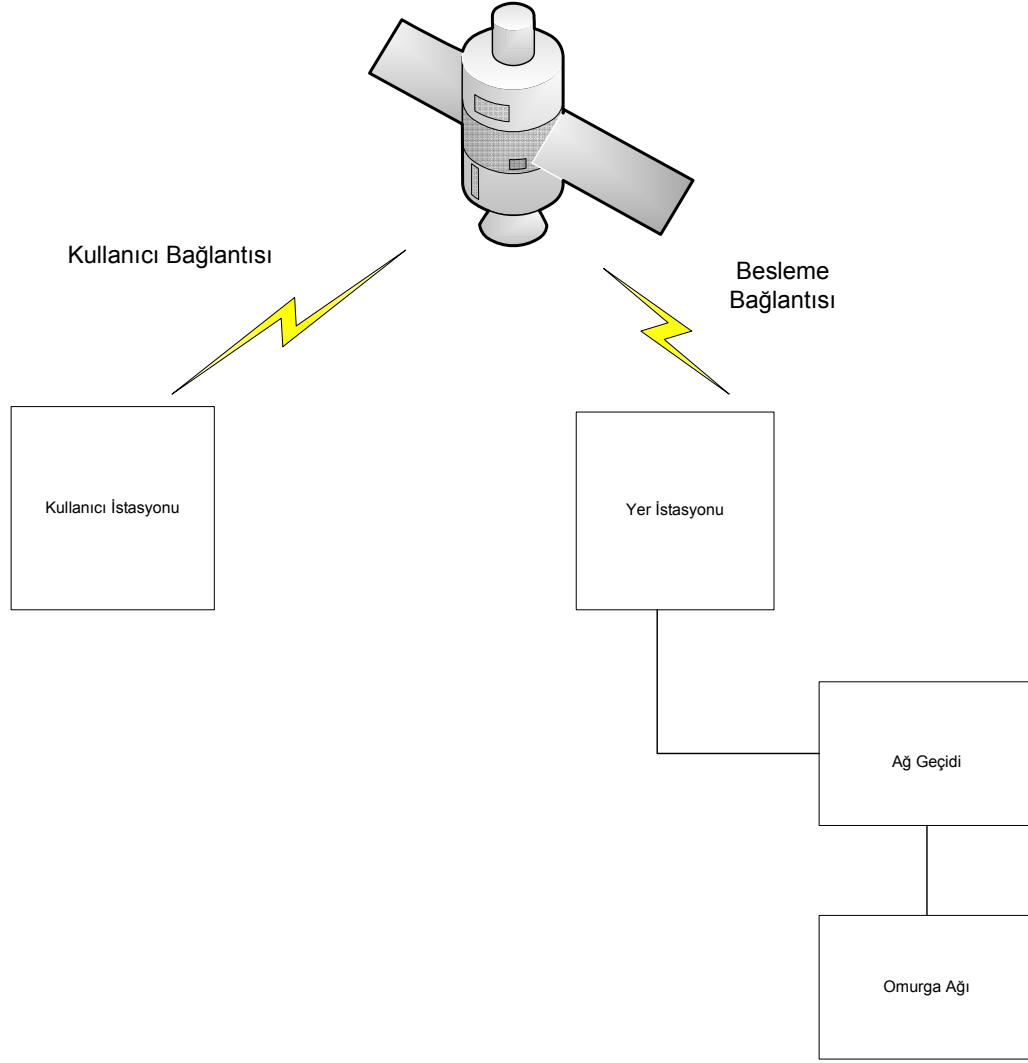
³⁵ İng. *Router*

d.Taşıma Katmanı: Amacı, üst katmandan gelen veriyi daha kısa veri birimlerine bölerek ağ katmanına iletmektir. Bağlantı yönlü çalışır. Tüm verilerin aynı sırada iletilmesini sağlar. Bu işlemi TCP protokolü sayesinde yapar. Ağda oluşan sıkışıklıklar giderilir kaynaktaki iletim hızı ayarlanarak çözülür. Ağ sıkıştığında switchlerde ve yönlendiricilerde paketler kaybolabilir. TCP bozulan paketleri hata algılama kodları ile göndericiye ACK mesajı yollar. Bozulmuş olan veriyi tekrar yollamasını sağlar. Oturum katmanına oradan da ağı kullanan kullanıcılara hangi servislerin sunulacağını belirler.

e. Oturum Katmanı: Amacı, son kullanıcılar arasında oturum açan, kapatan ve oturumu yönetmektir

f. Sunum Katmanı: Gönderilen bilginin sözdizimi ve anlamı ile ilgilenir. Değişik veri yapılarına sahip kullanıcılar arasında veri yapılarını tanımlamaktan sorumludur.

g.Uygulama Katmanı: Amacı, kullanıcılar tarafından sıkça kullanılan protokolleri içermektir. Örneğin www'a erişimi sağlayan http protokolü örnek verilebilir. Diğer protokoller ise dosya transferi, e-mail gibi protokollerdir.



Şeki1.2. Temel bir Uydu Ağ Yapısı [5]

Şekil 1.2’de temel bir uydu ağ sistemi görülmektedir. Yer İstasyonu, karasal ağları birbirine bağlayan omurga ağları ile ağ geçidi sayesinde irtibat kurar. Kullanıcı taleplerine göre telefon görüşmesi, internet erişimi, SMS, MMS hem sabit kullanıcıların hem de mobil kullanıcıların taleplerini yer istasyonları uydu ağları ile irtibata geçerek belirtir. Uydu tarafından kullanıcı istasyonlarına kapasite ayarlanır.

Literatürdeki kaynak aktarımı ile ilgili çalışmalar şöyledir. Kullanıcıdan gelen taleplere göre gelecek olan bant genişliği tahmin edilerek kaynak aktarımı sunan çalışmalar mevcuttur [17]. Ayrıca girişim kısıtlarının olduğu durumlarda yer istasyonlarına kaynak aktarımı sunan algorithmadan söz edebiliriz [18]. Bununla birlikte güç tahsisinin uygulandığı diğer bir çalışma Neely ve Modiano’nun

çalışmasıdır [19]. Jamalipour ve Ogawa'nın çalışmasında da çoklu ışınli uydular için güç tahsisi geliştirilmiştir [20]. Servis kalitesini güçlendirerek maksimum haberleşme kapasitesine sahip çoklu ışınli uydu haberleşme sistemleri için kaynak aktarım algoritmasının anlatıldığı çalışma da bulunur[6].

Uydular tarafından sağlanan kapasiteyi etkileyen faktörler ve kapasite artırımına ilişkin ilgili çalışmalardan da söz edebiliriz.

Yağmurdan dolayı sinyalin zayıflaması, uydu güçlendiricilerinin sınırlı gücü, komşu ışın demetleri arasındaki girişim, karasal servis bölgelerinde homojen olmayan trafik ve ek olarak uydulardaki RF gücü üzerindeki sınırlamalar, antenin boyutu, yer terminallerinde kullanılan donatımdaki kısıtlamalar, bant genişliği üzerindeki kısıtlamalar bütün bunlar uydu kapasitesini etkilemektedir [21]. Ayrıca güneş panelleri, uydunun dengesi (stabilizasyon) iletişim payloadunu etkiler [21]. Uyduların kapasitesi birkaç gigabit telekommunikasyon trafiği sağlıyor [21]. Buna rağmen talep sağlanan kapasiteyi aşarsa teorik olarak daha büyük kapasiteli uydular oluşturmak gerekir[21]. Ayrıca yer istasyonlarında daha büyük açıklığa sahip antenler oluşturulabilir [21]. Eğer açıklıklar³⁶ çifte katlanırsa uydular daha fazla noktasal ışın demeti sağlarlar. [21].

Sistem kapasitenin arttırılmasına yönelik ve uydu-yer linki ışın demetlerinin radyo kaynaklarını paylaşması için uydu-yer link sinyallerinin eşzamanlı olarak iletildiği Lim ve Kim'in çalışmasından bahsedilebilir [22].

1.9. Uydularda Kanal Bozulmalarının Sebepleri:

Uydu haberleşmesi yüksek frekansta ve uzun mesafelerde gerçekleştiği için sinyali bozan pek çok faktör devreye girer. Yol Kaybı, Atmosferik gazlar, yağmur, sis ve bulutlar ile parlama³⁷ ve Çok yollu Sönümleme bozulmalara neden olan başlıca faktörlerdir [5].

³⁶ İng. *aperture*

³⁷ İng. *scintillation*

a. Yol Kaybı: Radyo dalgalarının güç yoğunluğundaki azalmadır. Birçok etkeni vardır. Bu etkenlere uzay boşluğu, kırılma, yansımaya, soğrulma verilebilir. Uzay boşluğunun neden olduğu yol kaybı şu şekildedir [4].

$$I_{fs} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2 \quad (1.1)$$

r ile belirtilen alıcı anten ile verici anten arasındaki uzaklıktır. λ ise dalga boyudur. Yol kaybı, dalga boyunun karesi ile ters, alıcı ve verici arasındaki uzaklığın karesi ile doğru orantılıdır.

b.Atmosferik Gazlar: Oksijen ve su buharı elektromanyetik sinyallerin zayıflamasına yol açar. 10 ghz altındaki bantta çalışan sinyaller bu durumdan etkilenmezler. 10 ile 150 ghz arasındaki bantta çalışan sinyallerin zayıflamasında oksijen etkili olur. 150 ghz üzerinde ise su buharı etkili olur [5].

c.Yağmurların Sebep Olduğu Zayıflama³⁸: Atmosferik olaylarda en belirgin olan sinyal zayıflaması yağmurların sebep olduğu zayıflamadır. Yağmurun sebep olduğu sinyal zayıflamasını tahmin eden parametreler mevcuttur. Yağmur düşüşünün olasılıksal dağılım fonksiyonu ile sinyal zayıflaması belirlenebilir [5].

d.Sis ve Bulutların Sebep Olduğu Sinyal Zayıflaması³⁹: 30 ghz altında çalışan sistemler için sis ve bulutların etkisi çok önemli değildir. 30 ghz üzerinde belirgindir. Sis ve bulut sinyal zayıflamasını tahmin etmek için deneysel modeller kullanılmıştır [5].

e.Parlama: Yükseliş açısı yani yer istasyonu ile uydu arasındaki yatay açıdır. 10 derecenin üzerindeki sistemler için ve 10 ghz'in altında banta sahip sinyallerde ortaya çıkar. Atmosferin alt katmanı olan troposferdeki sinyallerin kırılma indeksindeki düzensizliklerden dolayı sinyalde bozulmalar ortaya çıkar [5].

f. Çok Yollu Sönümlenme: Verici antenden çıkan radyo dalgaları alıcı antene gelirken birçok iletim yolundan geçer. Çok yollu sönümlenme troposfer ve iyonosferde kırılma indeksinde oluşan düzensizliklerden dolayı meydana gelir.

³⁸ İng. *rain attenuation*

³⁹ İng. *fog and cloud Attenuation*

Ayrıca dünya yüzeyindeki yansımalar da ortaya çıkar [5]. Bu sönümlenme genellikle gezgin yer sistemlerinde görülür.

Bit hata oranı uydu ağlarında çok yüksektir. Çünkü atmosferik etkilerden dolayı uydu bağlantılarındaki bozulmalar bit dizilimlerinin hatalı olmasına yol açar. Bu hataların etkilerini telafi etmek için hata sezen ve düzelten kodlar kullanılması, gücün artırılması ve daha düşük kiplenim seviyelerinin kullanılması gibi yöntemlere başvurulur. Ka bandı yağmur sönümlenmesi ve yol kaybı gibi kanal bozulmalarından etkilenmektedir[29].

1.10 Tezin İçeriği:

Uyduların yapısından, özelliklerinden kullanılan frekans bantlarından, haberleşme uydularından, uydulardaki kanal bozulmalarının sebeplerinden, çoklu ışınli uydularla ve kaynak aktarımı ile ilgili literatür çalışmalarından Bölüm 1’de bahsedildikten sonra Bölüm 2’de Ka-bandına bağlı atmosferik etkilerden ve kanal bozulmalarından daha detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Bölüm 3’te çok ışınli uydular hakkında detaylı bilgi verilecektir ve özellikle çok ışınli ve faz dizilimli uyduların yapısı incelenecektir. Bu uydulardaki en önemli problem olan ışınlar arası girişimden bahsedilecektir. Bölüm 4’te çoklu ışın uydularda kaynak tahsisi konusunda yapılmış birtakım önemli çalışmalar, tanımlanan problemler, sistem kısıtları ve çözüm yöntemleri hakkında literatür analizi yapılacaktır. Çoklu ışınli uydulardaki en iyi güç aktarımı için gerekli kısıtlardan, dış bükey en iyileme yönteminden, en iyi güç aktarımı ile ilgili uygulanan algoritmalarından olan Lagrange yönteminden ve en iyiye yakın geliştirilen açgözlü⁴⁰ algoritmalarından bu bölümde bahsedilecektir. Bölüm 5’te ise çoklu ışınli uydular hakkında bizim önerdiğimiz yeni algoritmalarından bahsedilecek ve bu algoritmaların başarımlarını değerlendirmeleri, benzetim sonuçları grafikler ile sunulup yorumlanacaktır. Yine bu bölümde ışınlar arası girişimden doğan bir kısıt, probleme eklenecektir ve kaynak tahsisini zamana yaymanın buradaki olumlu etkileri gözlemlenecektir. Bölüm 6’da ise faz dizilimli antenler konusunda bizim önerdiğimiz algoritma açıklanacak ve yine başarımlarını karşılaştırmalı

⁴⁰ İng. *Greedy*

olarak incelenecektir. Uygulamalarda sabit uydu yer istasyonlarına iletim, GEO uydusu ve 20 Ghz frekans bandı ele alınmıştır.

2. Ka-Bandı Uydu Kanal Modelleri

Ka-Bandı uydu haberleşmesinin kablosuz yer haberleşmesinden en büyük farkları, 1) Çok daha uzun mesafelerde gerçekleşmesi, 2) Daha yüksek (20-30 GHz) frekanslarda yapılması, 3) Alıcı ve vericinin birbirinin görüş alanında olmasıdır (Line of Sight). Bu nedenle yerdeki mobil haberleşmede etkili olan bazı kanal faktörleri uydu da daha az etkili olur ve yer haberleşmesinde hesaba katılmayan bazı faktörler uyduda önem kazanır.

2.1. Uydularda Kanal Bozulmalarının Sebepleri:

Uydu haberleşmesi yüksek frekansta ve uzun mesafelerde gerçekleştiği için sinyali bozan pek çok faktör devreye girer. Yol kaybı, atmosferik gazlar, yağmur, sis ve bulutlar ile parlama ve çok yollu sönmüleme bozulmalara neden olan başlıca faktörlerdir [5].

2.1.1. Yol Kaybı:

Radyo dalgalarının güç yoğunluğundaki azalmadır. Birçok etkeni vardır. Bu etkenlere uzay boşluğu, kırılma, yansıma, soğrulma verilebilir. Yol kaybıyla beraber öncelikle anten kazancını inceleyeceğiz.

Anten Kazancı: Anten kazancı bir antenden güç/açı'nın, izotropik (eş yönlü) antenden yayılan güç/açı'ya olan oranıdır. Maksimum anten kazancı $G_T = (4\pi/\lambda^2)A_{eff}$ olarak ifade edilir. Burada λ dalga boyu, A_{eff} ise uydu anteninin efektif açıklık alanıdır. D yarı çaplı dairesel açıklıklı anten için $A_{eff} = \eta\pi D^2/4$ olur, ki burada η anten verimliliğidir, birden çok faktörden oluşur ve tipik olarak 55% ve 75% arasında değişir.

Yol Kaybı: İletim gücü P_T ise alıcıdaki güç P_R şu şekilde yazılır,

$$P_R = P_T G_T \frac{1}{L_{FS}} G_R \quad (2.1)$$

Burada G_R alıcının anten kazancıdır ve $G_R = (4\pi/\lambda^2)A_{\text{Reff}}$ olarak yazılabilir. Uzak boşluğunun neden olduğu yol kaybı L_{FS} 'dir. Daha önce belirtildiği gibi $L_{FS} = (\frac{4\pi r}{\lambda})^2$ olarak yazılır. r ile belirtilen alıcı anten ile verici anten arasındaki uzaklıktır. λ ise dalga boyudur. Yol kaybı, dalga boyunun karesi ile ters, alıcı ve verici arasındaki uzaklığın karesi ile doğru orantılıdır.

2.1.2. Yağmurların Sebep Olduğu Zayıflama:

Ka-Bandı civarında en belirgin olan atmosferik sinyal zayıflama etkisi yağmurların sebep olduğu zayıflamadır. 10 GHz'den yüksek frekanslarda etkili olmaktadır [4]. Yağmurun sebep olduğu sinyal zayıflamasını tahmin eden çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur. Yöntemlerde birisi deterministiktir ve yağmurun oluşma yüksekliği, alıcı konumu ve açısı, yağmur şiddeti gibi parametreler verildiğinde yağmur zayıflaması hesaplanır. Aslında yağmur şiddeti olasılıksal bir parametredir ve bunu tahmin etmek için iki tür yöntem izlenmiştir. Birincisinde eldeki veriye dayanarak otoregresif yağmur sönümlenme değerini bir otoregresif hareketli ortalama (ARMA) olarak modellemek ve ilgili katsayıları bularak tahmin etmektir [44]. Diğer bir yöntem ise bu sönümlenmenin uzun veya orta vadeli olasılıksal dağılımını bulmaktır, ki bu daha kullanışlı sonuçlar vermektedir ve bir veri ihtiyacı olmadan benzetim çalışmalarında kullanılabilir. Bir noktaya düşen yağmur oranının log-normal bir rastgele değişken olarak modellenebileceği hakkında geniş bir konsensüs vardır [45]. Bu konuda [23], [24] ve [45] te önemli çalışmalar yapılmıştır. Masseng ve Bakken'in çalışmasında yağmurların sebep olduğu zayıflama için matematiksel bir model oluşturulmuştur. Model 1. dereceli Markov sürecini baz almıştır. Markov Süreci, sistemin davranışının geçmişteki deneyimine bağlı olmayıp şimdiki durum vektörüne bağlı olduğunu belirten süreçtir. Herhangi bir t anında belirtilen sinyal zayıflamasının durumu gelecek için istatistiksel olarak belirtilir [23]. Matricianni de çalışmasında yağmur bozulmalarına karşı matematiksel bir model sunulmuştur [24].

Bu çalışmalarda uzun vadeli dağılımın yanı sıra iki farklı noktadaki yağmur sönümlenmesinin birbiriyle ilintisi ve bir noktadaki sönümlenmenin zaman alanında özilintisi hakkında da çıkarımlarda bulunulmuştur. Fakat biz çalışmamızda tek bir

andaki çizelgeleme ve kaynak tahsis kararının başarımını incelediğimiz için sadece uzun vadeli dağılımı kullanacağız. Log-normal dağılım şu şekildedir.

$$f(R_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i R_i} \exp\left[-\left(\frac{\ln R_i - m_i}{\sigma_i}\right)^2\right], \forall i \quad (2.2)$$

Burada ihtiyacımız olan şey standart sapma σ_i ve ortalama m_i 'dir. Filip ve Vilar'ın [25] çalışmasında bu değerler sırasıyla 1.63 ve 2.62 olarak verilmiştir. Aslında bu parametrelerin de bizzat log-normal dağılımlı oldukları söylenmektedir fakat bu konuda yeterli veri yoktur.

2.1.3. Parlama (Scintillation):

Yükseliş açısı yani yer istasyonu ile uydu arasındaki yatay açıdır. 10 derecenin üzerindeki sistemler için ve 10 Ghz'in üstünde frekansa sahip sinyallerde ortaya çıkar. Özellikle Ka-bandında atmosferin alt katmanı olan troposferdeki sinyallerin kırılma indeksindeki düzensizliklerden dolayı sinyalde bozulmalar ortaya çıkar [4,5].

Genlik Parlama ve yağmurların sebep olduğu sinyal bozulmalarına karşın Filip ve Vilar tarafından Ka bandında uydu kapasitesinden uzun süreli faydalanmaya yönelik istatistiksel bir model geliştirilmiştir. Daha sonra bu model VSAT⁴¹ istasyonlarına uygulanmıştır. VSAT'lar iki yönlü yer istasyonlarıdır genel olarak dar bant ile çalışırlar [25].

Ayrıca Filip ve Vilar'ın çalışması Alouini tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada Ka bandında çalışan VSAT'larda atmosferik etkilerden dolayı başarımların bozulmalarına karşı çalışma yapılmıştır. Parlama durumları gözden geçirilerek yağmur sönümlenmesi ve parlama durumlarında istatistiklere dayanan matematiksel kanal modeli oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmada atmosferik gazların etkilerinden de bahsedilmiştir [26].

⁴¹ İng. *Very small aperture terminal*

Parlama kanal modellerine dayalı diğer çalışmalar şöyledir. Parlama sönümlenmesine yönelik çalışmada Mayers, ITU-R modeli ile Karasawa modelini kıyaslamıştır [27]. ITU-R modeli ile Karasawa modeli, sinyalin genliğindeki değişimleri tahmin eden modellerdir. Bununla birlikte X bandında çalışan genlik parlamaları için model oluşturan Mouldsley ve Vilar'ın çalışmasından da bahsedilebilir [28].

Bu çalışmaların incelenmesi sonucunda parlamanın da log-normal bir rastgele değişken olarak modellenebileceğine karar verilmiştir. Yağmur sönümlenmesi sinyali sadece zayıflatır , fakat parlama sinyali güçlendirebilir de, yani dB cinsinden değeri artı veya eksi olabilir. Genellikle $\pm 1-2$ dB civarındadır. Filip ve Viların çalışmasında [25] standart sapma ve ortalama sırasıyla 0.612 ve 0.261 olarak verilmiştir.

2.1.4. Sis ve Bulutların Sebep Olduğu Sinyal Zayıflaması:

30 ghz altında çalışan sistemler için sis ve bulutların etkisi çok önemli değildir. 30 ghz üzerinde belirgindir [4]. Sis ve bulut sinyal zayıflamasını tahmin etmek için deneysel modeller kullanılmıştır [5]. Bu etkiyi de bu çalışmada ihmal ediyoruz.

2.1.5. Atmosferik Gazlar:

Oksijen ve su buharı elektromanyetik sinyallerin zayıflamasına yol açar. 10 ghz altındaki bantta çalışan sinyaller bu durumdan etkilenmezler. 10 ile 150 ghz arasındaki bantta çalışan sinyallerin zayıflamasında oksijen etkili olur. 150 ghz üzerinde ise su buharı etkili olur [5]. Atmosferik gazların etkisi bağıl Nem, hava sıcaklığı ve basınç gibi faktörlere bağlıdır. 20GHz civarında zayıflama 3dB'yi geçmez [43], bu nedenle bu faktörü ihmal edeceğiz. Ippolito'nun kitabında [4] bu konuda çok detaylı bilgi mevcuttur.

2.1.6. Çok Yollu Sönümlenme:

Verici antenden çıkan radyo dalgaları alıcı antene gelirken birçok iletim yolundan geçer. Çok yollu sönümlenme troposfer ve iyonosferde kırılma indeksinde oluşan

düzensizliklerden dolayı meydana gelir. Ayrıca dünya yüzeyindeki yansımalar da ortaya çıkar [5]. Biz çalışmamızda alıcı ve vericinin hep görüş açısında olduğunu farzediyoruz ve alıcıların sabit olduğu durumları inceliyoruz, bu nedenle bu faktör ihmal edilecektir.

2.1.7. Depolarizasyon:

Polarizasyon uydu haberleşmesinde bant verimliliğini artırmakta kullanılan bir yöntemdir ve elektrik alanın yere göreceli olan yönünü ifade eder. Uydudan birbirine dik polarizasyonda iki dalga gönderilirse bunlar alıcılarda birbirine karışmadan alınabilir ve iki kat bant verimliliği sağlanır. Eğer Ka-bandında (12 Ghz'in üzerinde [24]) ve yağmur altında haberleşme yapılıyorsa bu iki polarizasyon arasında enerji alışverişi olabilir. Özellikle yağmur damlaları büyüdükçe şekilleri küreden elipse dönüşür ve yağmur depolarizasyonu denen etki artar. Biz bu çalışmada birbirine dik polarizasyonlu dalgaların beraber gönderilmesini incelemeyeceğiz. Bant verimliliğini çoklu ışınli uydularla sağlamayı planlıyoruz. Bu nedenle bu etkiyi de ihmal edeceğiz.

2.2 Uydulardaki Ulaşılabilen Veri Hızı

Uydu kanalları da çoğu haberleşme kanalı gibi toplanır. Beyaz Gauss Gürültülü Kanal⁴² olarak modellenebilir. İletilen sinyal böyle bir rastgele gürültü ile toplanmış ve ayrıca zayıflamış olarak alıcıya ulaşır. Böyle bir kanalda ulaşılacak b/sn cinsinden maksimum veri hızı 1948 yılında Claude Shannon tarafından aşağıdaki gibi bulunmuştur [24],

$$C = W \log_2 \left(1 + \left(\frac{Pg}{WN_0} \right) \right) \quad (2.3)$$

Burada W bant genişliği, WN_0 gürültü gücü ve P iletim gücüdür. g parametresi ise yukarıda bahsedilen bütün sinyal zayıflama faktörlerinin çarpılmış halidir.

⁴² İng. *Additive White Gaussian Noise*

Belirtilen denklem maksimum ulaşılabilir veri hızıdır fakat buna ulaşabilen bir iletim stratejisi tanımlanmamıştır. Bu hıza ulaşabilmek için sonsuz uzunluklu kod kelimeleri gerekmektedir. Oysa ki haberleşme sistemlerinde iletimler sınırlı zaman dilimlerinde yapılır ve ayrıca yukarıdaki g parametresi ancak sınırlı bir süre boyunca sabit kalır. Ayrıca ses, görüntü gibi gerçek zamanlı iletimler sınırlı bir gecikme kısıtına sahiptir ve bu süre içinde iletim yapılmalıdır. Yine de gelişmiş hata düzelten kodlar sayesinde Shannon kapasitesine yaklaşmak mümkündür. Belli bir bit hata oranı⁴³ kısıtına karşılık elde edilen kiplenme ve kodlama teknikleri ile elde edilebilecek en yüksek veri hızı, sinyal gürültü oranına bağlı olarak çizdirilirse Shannon kapasitesine benzer logaritmik ama daha düşük bir ifade çıkar. Bu sebeple bazen yukarıdaki formüle gücün yanına 1 'den ufak bir çarpan (SNR-boşluğu) eklenir ve ulaşılabilir veri hızı bu şekilde modellenir. Biz yine de bu çalışma da böyle bir katsayı kullanmayacağız.

2.3. Uydulardaki Sinyal Gecikmeleri

2.3.1 Gidiş-Geliř⁴⁴ Gecikmeleri:

Uydularda sinyalin yer istasyonundan gönderilmesi ile uyduya gidip gelmesi için geçen sürede gecikmeler oluşur [5]. Bu gecikmeler uydularda kullanılan transponderlara göre değişmektedir [5]. Uydularda oluşan gecikmeler şu şekildedir.

a. Yayılım gecikmesi: Yayılım gecikmesi vericiden çıkan sinyalin alıcıya ulaşmasına kadar geçen sürede meydana gelir. Gecikmeye bağlantı uzunluğu ile sinyalin ortamdaki hızı etken olur. Biz bu çalışmamızda yer durağan uyduları inceliyoruz. Işık hızını 300000 km/sn olduğu düşünülürse 35800 km yukarıdaki uydudan sinyalin gelme süresi 128 milisaniyedir.

b. Kuyruk gecikmesi: Kuyruk gecikmeleri ise yönlendiricilerde oluşur. Yönlendiricilere gelen paketlerin işlenip iletilmesi gerekir. Eski teknolojiye sahip uydular sadece yansıtıcı görevi görüyordu, yani gelen paketi işlemiyorlardı, bu nedenle uyduda bir gecikme olmuyordu. Oysa ki yeni uydular yerden aldıkları paketi

⁴³ İng. *Bit Error Ratio (BER)*

⁴⁴ İng. *Round Trip*

özp, yeniden kodlayıp, sırası geldiğinde iletcek yeteneğe sahiptirler. Paketler eğer yönlendiricinin işleme hızından daha hızlı oranda gelirse yönlendirici paketleri iletinceye kadar kuyruk sırasına dizer. Özellikle gecikme gibi hizmet kalitesi (quality of service) kısıtları bulunan trafik için bu gecikme önemlidir. Bu noktada uydunun daha akıllı algoritmalar kullanıp gecikme kısıtı olan paketleri önce göndermek gibi yöntemlere başvurması gerekebilir.

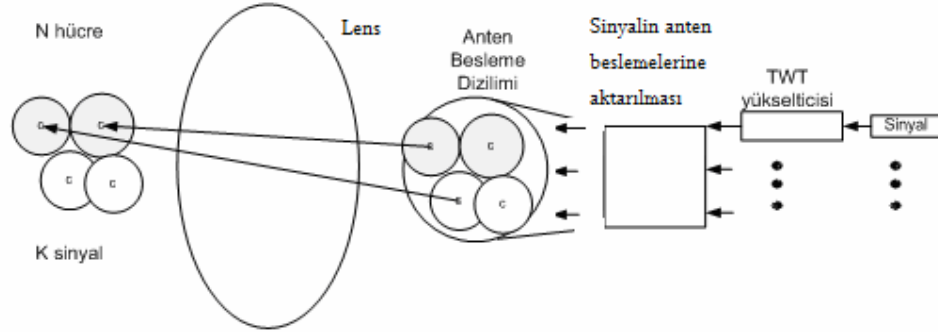
c.İşlemci Gecikmeleri: Yönlendiriciler, paketler iletilmeden önce paketteki bit hatalarını kontrol eder. Bit hatalarının kontrol edilmesi gecikmelere sebep olur. Bu gecikmeler mikrosaniyeler mertebesinde ve çok küçüktür. Bu nedenle bu faktörü ihmal ediyoruz.

İletim gecikmesi, kuyruk gecikmesi ve işlemci gecikmesi tarzı gecikmeler yenileyen transponderlarda ihmal edilebilir. Çünkü yenileyen transponderlarda sinyal, yerden uyduya, uydudan yere (kodlama ve kod çözme yapılmadan) iletildiği için daha kısa gecikmeler oluşur. Dirsek boru tarzında transponderlarda ise gecikmeler yerden uyduya, uydudan yere ve tekrar uyduya olduğu için daha fazladır. Bu gecikmeler yükseklik ile ters, yükseliş açısı ile doğru orantılıdır.

İyi bir uydu sisteminde kaynak tahsisi (fiziksel ve ortama erişim katmanı), sıkışıklık kontrolü (taşıma katmanı) ve paket yönlendirmesi (ağ katmanı) yöntemleri uygulanmalıdır [2]. Bu yöntemler sayesinde pratik sistemlerde kabul edilebilir bir kuyruk gecikmesi sağlanarak aşırı paket kayıplarının önüne geçilir [2].

3. Çoklu Işınlı ve Faz Dizimli Anten Yapıları ve Girişim

3.1 Çoklu Işınlı Antenler:



Şekil 3.1. Çoklu Işınlı Antenlerin Blok Şeması [41]

Şekil 3.1’de Çoklu Işınlı Anten yapısı belirtilmiştir. Çoklu Işınlı antenler parabolik biçimli yansıtıcı yüzeyden oluşmuşlardır. Bu yüzeyler huni antenler tarafından beslenirler. Huni antenler elektromanyetik enerjiyi her yöne eşit olarak dağıtmazlar. Enerjinin büyük bir bölümü belli yönlere dağılırken diğer yönlere daha az enerji dağılır. Her bir huni anten dairesel ışın demetleri oluşturur. Huni antenler tarafından anten besleme dizilimi oluşturularak ışın demetleri yayılır. Işın demeti şekillendirici ağ tarafından uygulanan giriş sinyali ile harekete geçirilir [42].

2 türlü ışın demeti şekillendirme ağı vardır. Hava şerit çizgisi⁴⁵ ve dalga kılavuzudur⁴⁶. Hava Şerit Çizgisi ortamında daha fazla kayıp yaşanmaktadır. C bandı ve daha düşük frekans bantlarında kullanılır. Dalga kılavuzunda daha az RF sinyal kaybı yaşanmaktadır. Ka bandı ve daha yüksek frekans bantlarında kullanılır. Işın şekillendirme ağlarında ışın demeti şekillendirme algoritmaları bulunmaktadır [39].

Çoklu Işınlı Antenler TWT⁴⁷ yükselticisi kullanırlar. TWT yükselticisi ile RF sinyalleri daha yüksek güç seviyelerine çıkar. TWT yükselticileri 300 Mhz ile 50 Ghz frekans bantları arasında çalışırlar. 70 db kadar kazanç sağlarlar. Herbir çoklu ışın demeti anteni kendi yükselticisi tarafından ışın demetleri için güç kısıtına yol

⁴⁵ İng. *Stripline*

⁴⁶ İng. *waveguide*

⁴⁷ İng. *travelling wave tube*

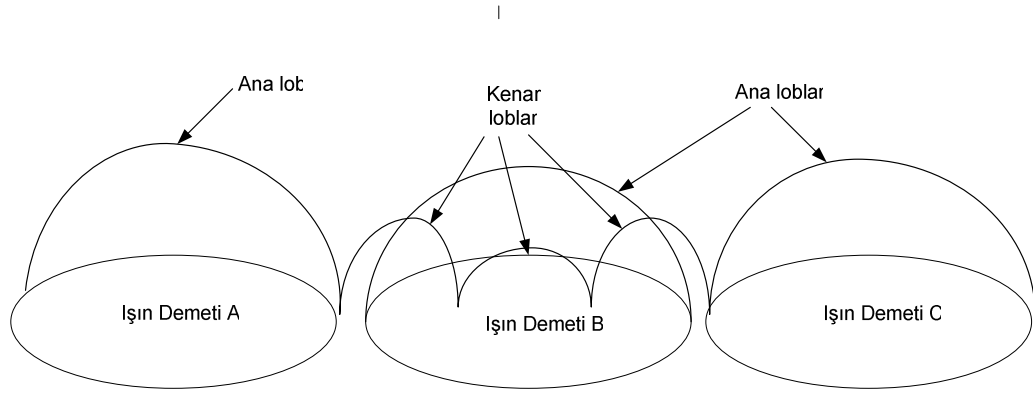
açar [41]. TWT yükselticisi her bir ışın demeti için denklem 4.10'daki kısıta yol açar. Çoklu ışın demeti antenlerde sabit bir ışın demeti büyüklüğü vardır [41].

3.1.1 Işın Demetleri Arasındaki Girişim ve Literatürde Uygulanan Çalışmalar

Bir uydunun kapsama alanının hücelere bölündüğü belirtilmişti. Hücelere noktasal ışın demetleri tarafından veri aktarımı sağlandığında çoklu ışınlı uydularda ışınlar arası girişim oluşabilir. Işının yeryüzüne düştüğü alana hücre denir. Hücreler altıgen, dairesel, karesel şekiller olabilmektedir. Genellikle noktasal ışın demetlerinin aydınlattığı hücreler altıgen şeklinde düşünülür. Hücrelerin her birine frekans atanmaktadır. Hücresel ağlarda aynı frekansın tekrar kullanımı mümkündür. Aynı frekansın tekrar kullanılma nedeni kapasitenin artırılmasını sağlamaktır [2]. Aynı frekanstaki sinyaller ortak kanal girişimine sebep olurlar. Bu yüzden aynı frekanslar komşu hücrelerde kullanılmazlar. Girişimi azaltan teknikler kullanılmalıdır. En uygun yöntem ortak frekans hücrelerini birbirinden yeterince ayırmaktır. Böylece girişim etkisi azaltılabilir. Girişim, çoklu ışınlı uydu sistemlerindeki servislerde görülmektedir. Daha çok mobil uydu haberleşme sistemlerinde gözlemlenebilir. Çoklu Işınlı Uydu hizmetlerinde görülen girişimde herhangi bir ışın demetine aktarılan sinyallerin kenar lobları diğer ışın demetleri üzerinde girişime neden olur. Şekil 3.2'de incelenebilir. Çünkü kullanıcıların hareketli olması ve de belirtildiği gibi ışın demetlerinin kenar loblarının diğer ışın demetlerinde yarattığı etkiden dolayı mobil haberleşme ağlarında sıkça gözlemlenebilir. Literatürde çoklu ışınlı uydularda girişim konusu üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Nakahari, Kobayashi ve Ueba çalışmalarını çoklu ışınlı mobil haberleşme uyduları üzerine yapmıştır [32]. Çalışmada 19 ışın demeti tahsis sistemi gösterilmiştir. 3 ışın demetinden oluşan bir grup⁴⁸ oluşturmak için sistemin bant genişliği 3'e bölünmüştür. Komşu ışın demetlerine farklı frekanslar atanmıştır. Böylece her bir grupta birbirine binen frekanslar olmamıştır. Çoklu ışınlı sistemlerde ışın demetinin kenar lobu diğer ışın demetlerinde gözle görülür bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak komşu ışın demetlerindeki girişimin haberleşme kapasitesini ve kalitesini bozduğu belirtilir. Çalışmada her bir ışın demetindeki gerekli bit oranı sağlanarak ışın demetleri arasındaki girişim minimum seviyeye getirilmeye çalışılmıştır. Makalede belirtilen kısıt durumlarında girişim en küçültülerek en iyi sonuçlar bulunmuştur. Ayrıca

⁴⁸ İng. *cluster*

kullanıcıların yerlerine bakılarak güç tahsisi yapılmıştır [32]. Aynı makale yazarları tarafından uygulanan çoklu ışınlı mobil haberleşme ağlarındaki kullanıcı dağılımları değiştiğinde ve ışın demetlerindeki girişim durumlarıyla başa çıkabilecek kaynak aktarım çalışmasından bahsedilebilir [33]. Bu çalışmada girişimin etkisi anten kazancına bağlı olduğundan söz edilmiş. Eğer kazanç küçükse komşu ışın demetleri ile daha küçük girişim oluştuğundan her bir kullanıcının alıcı anten boyutunun, iletim bit oranının, gerekli servis kalitesinin ve radyo iletiminin farklı olduğundan bahsedilmiştir. Bu çalışmada toplam kapasiteyi geliştirmek için iki tabakalı kaynak aktarım algoritması uygulanmış ve bu yöntem ile frekans bant genişliği ve güç yoğunluğu yönetimi belirtilmiştir [33]. Uydu mobil ağlarındaki girişimin etkisinin bahsedildiği diğer bir çalışma olan Corozza'nın çalışmasıdır [34]. Ayrıca Corozza'nın kanal girişimlerinden söz ettiği kitabı incelenebilir [35].



Şekil 3.2. Işın Demetlerindeki Kenar Lobların Oluşturduğu Girişim

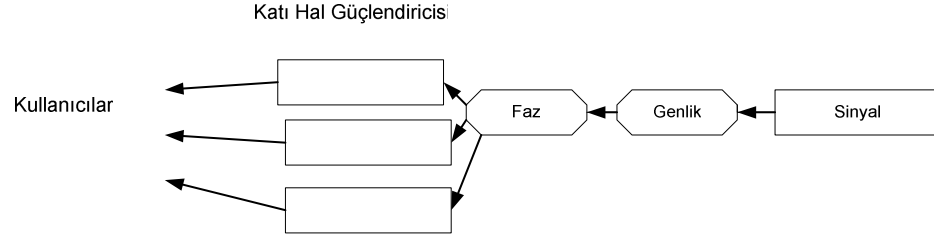
Şekil 3.2'de Işın Demeti A ve Işın Demeti C'nin Işın Demeti B üzerinde kenar loblarının oluşturduğu girişim gözlemlenebilir.

Çoklu Işınlı Uydularda ışın demetleri arasındaki girişim haberleşme kapasitesini ve bağlantı kalitesini düşürdüğü için komşu ışın demetlerine farklı frekanslar atanmalıdır.

3.2. Faz Dizilimli Antenler:

Faz Dizilimli antenler daha yüksek kayıplar, daha yüksek ağırlık ve daha yüksek maliyetlere sahip antenlerdir [39]. Faz Dizilimli antenlerdeki yüksek kayıplar katı hal

güç yükselticileri⁴⁹ ve düşük gürültü güç yükselticileri tarafından dengelenmektedir [39]. Mikrodalga tümleşik devre teknolojisi⁵⁰ sayesinde maliyeti daha verimlidir. Bu sayede uydu haberleşme sistemlerinde kullanımı uygundur [39]. Tek yongalı mikrodalga tümleşik devreleri⁵¹ 300 Mhz ile 300 Ghz gibi mikrodalga frekansları arasında çalışan bir tür tümleşik devredir. Mikrodalga sinyallerini karıştırma, güç yükseltme, yüksek frekans anahtarlama gibi özelliklere sahiptir. Tek yongalı mikrodalga tümleşik devreleri Galyum Arsenid kullanılarak üretilmişlerdir. Galyum Arsenid çipi, güçlendiriciler, ışın demeti yönlendiricileri ve faz kaydırıcıları içerir. Son zamanlarda karma tek yongalı tümleşik devreler tercih edilmektedir [39]. Bu yapıda dizilim elemanları katmanlara ayrılmıştır [39]. Bu yapı sayesinde daha verimli anten iletim açıklıkları elde edilmektedir [39].



Şekil 3.3. Faz Dizimli Anten Blok Şeması [41]

Şekil 3.3’de faz dizimli antenlerin genel yapısı belirtilmiştir [41]. Faz dizimli antenler katı hal güç yükselticileri kullanırlar [41]. Katı hal güç yükselticileri fark yükselticileridir. Katı hal yükselticilerinde anten kazancını kontrol etmek için çıkıştan giriş sinyallerine bir geri dönüş olur.

Faz Dizimli Antenler bir grup antenden oluşmuş olup tek bir kaynağa bağlıdır. Antenleri besleyen sinyallerin genlik ve fazları değiştirilerek iletim örüntüsü⁵² kontrol edilebilir [21]. Sinyaller arasındaki girişim azaltılır [21]. Ayrıca bu antenler esnek ışın demeti şekli ve büyüklüğü sağlarlar [41]. Dizilim elemanları aynı sinyal ile beslenebilirler. Ayrıca bu antenlerin iletim planlanması çok hızlıdır [41]. Kaynaklar daha hızlı faaliyete geçirildiği için daha düşük zaman gecikmeli iletimlere sahip olurlar [2]. Bu durum uydu kaynak tahsisini verimli hale getirir [41]. Chan’in

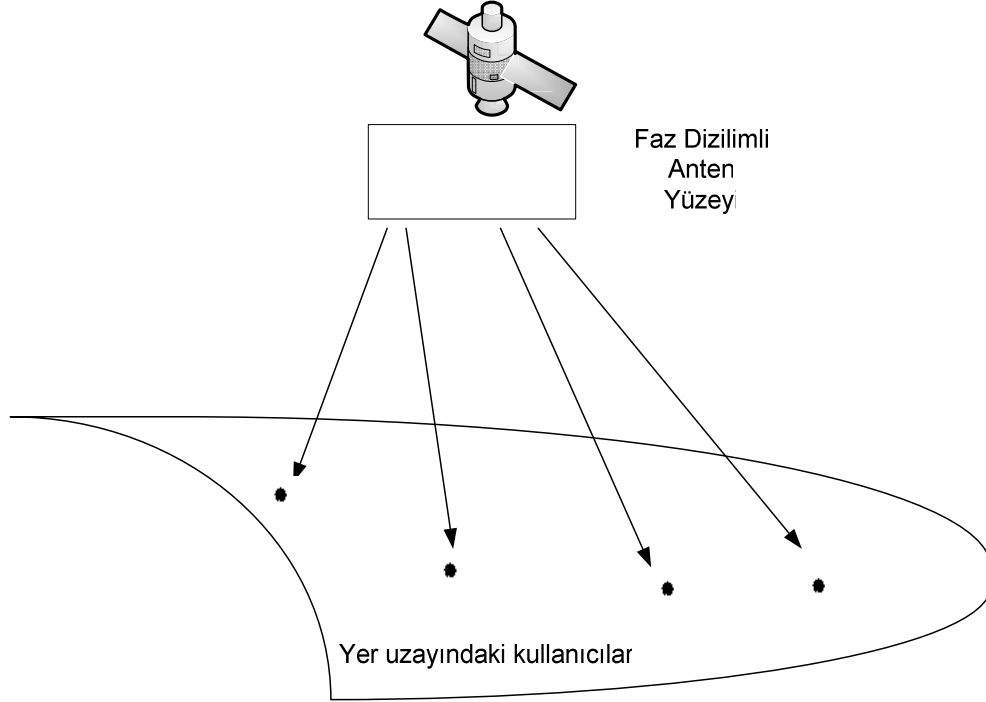
⁴⁹ İng. *solid-state power amplifier*

⁵⁰ İng. *Microwave Integrated Circuit*

⁵¹ İng. *Monolithic Microwave Integrated Circuit*

⁵² İng. *radiation pattern*

makalesinde belirttiği gibi yeryüzündeki M kullanıcıya farklı sinyal sağlanır. Şekil 3.4’de M kullanıcıya faz dizimli anten sayesinde aktarılan sinyaller belirtilmiştir [41].



Şekil 3.4. Faz Dizimli Anten Yüzeyinden Yer Uzayındaki Kullanıcılara Aktarılan Sinyaller [41]

Chan, belirttiği gibi ortak kanal girişiminin olduğu yakın kullanıcılar arasında, yani ışın demetlerinin büyüklüğünün $\frac{\lambda L}{D}$ olduğu durumlardaki ışın demetleri arasında oluşan girişimden söz etmiştir. Burada λ dalga boyu, L uydunun yerden yüksekliği ve D verici anten çapını belirtir [41]. Yüksek SNR durumlarındaki girişim etkisini tamamen yok etmeye yönelik model olan kanal kapasitesi modeli sunulmuştur.

Tam girişim iptali için kanal kapasitesi denklem (3.1)’de belirtilmiştir [41].

$$C_i(t) = W \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_i^2 H_i P_i(t)}{WN_0} \right) \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de belirtilen kanal kapasitesidir. H_i ile belirtilen girişimi tamamen yok etmekten dolayı iletim gücünde meydana gelen azalmadır [41] ve önceki bölümde bahsedilmiştir. H_i 0 ile 1 arasındadır. ($0 \leq H_i \leq 1$) H_i değeri i kullanıcısı ile ona en yakın aktif (iletim yapılan) kullanıcı arasındaki uzaklığa bağlıdır [41]. Örneğin aktif herhangi bir kullanıcı yer uzayında x_i, y_i noktasında, diğer aktif kullanıcı da x_k, y_k noktalarında bulunsun. En yakın iki aktif kullanıcı arasındaki uzaklık ışın demeti büyüklüğünden küçük olduğu zaman H_i değeri kayda değer bir etkiye sahip olur [41]. Denklem (3.2)'de aktif kullanıcılar arasındaki uzaklık formülü belirtilmiştir [41].

$$l = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \quad (3.2)$$

H parametresini ise şu şekilde ifade edebiliriz.

$$H_i = 1 - \text{sinc}^2 \left[\frac{D(x_i - x_k)}{\lambda L} \right] \text{sinc}^2 \left[\frac{D(y_i - y_k)}{\lambda L} \right] \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'de belirtilen D verici anten çapıdır. Görüldüğü gibi H_i aktif kullanıcılar arasındaki uzaklığa bağlı bir değişkendir [41]. Bu modelin avantajı her bir kullanıcının kapasitelerinin tahsis edilen güce göre ayrıştırılmasıdır [41]. Bir kullanıcının erişilebilir hızı başka kullanıcıların gücüne bağlı olmaz, sadece uzaklığa bağlı bir H parametresine bağlı olur. Bu yüzden kullanıcı seçiminden sonraki güç eniyilemesi dış bükey bir problemdir ve Denklem (4.9)'daki güç kısıtına karşılık eniyileme yapılır [41]. Faz dizilimli antenlerin özelliği gereği ışınlar için bireysel güç kısıtı yoktur.

Chan'in yapmış olduğu uygulamalarda her iki anten türü de kıyaslanmıştır ve faz dizilimli antenler, esnek güç aktarımı sayesinde daha iyi bir başarımlı göstermiştir. Yukarıdaki tam girişim iptaline alternatif olarak girişim en iyilemesi düşünülmüştür ve bu daha iyi başarıma sahiptir. Ancak gerçekleşmesi zordur ve benzetim sonuçlarına göre başarımlı çok da büyük farklılık göstermemektedir.

4. Çoklu Işınlı Uydularda Kanal Tahsis Yöntemleri

Önceki bölümlerde belirttiğimiz gibi yeni nesil uydularda hem alıcı hem de verici de çoklu ışınli antenler kullanılmaktadır. Burada amaç ışınları dar bir alana odaklayarak sinyal – gürültü oranını artırmaktır. Ayrıca dar bir alana odaklanan ışın diğer alanlara girişim yapmaz (veya çok az yapar) ve bu sayede aynı frekans bandının tekrar tekrar kullanılması sağlanmış olur. Bütün bu ışınlar uydunun güç kaynaklarından beslenir, bu yüzden toplam güç kısıtı bir kaynak tahsis parametresi olarak karşımıza çıkar. Bunun yanında, kullanılan anten tipine bağlı olarak ışın başına tahsis edilebilecek gücün de bir üst sınırı olabilir. Son olarak ışınlar arası girişim olan durumlarda hangi kullanıcılara iletim yapılacağı ve iletimleri çizelgelenmesi de önemli bir problemdir.

4.1. Güç ve Anten Kazancının Beraber Tahsisi (Shaft, Roberts [46])

Bu çalışma çoklu ışın antenli uydu sistemlerinde kaynak tahsisi konusunda bilinen en eski çalışmalardan biridir [46]. Burada uydunun toplam güç ve toplam anten kazancı kısıtları vardır. Ayrıca her ışının etkin yayın gücü kısıtının (EIRP⁵³) sağlanması gerekmektedir. Problemin amacı artı kalan etkin yayın gücünün maksimize edilmesidir. Problem matematiksel olarak şu şekilde kurulmuştur.

$$\begin{aligned} & \text{maks.} \left(P - \sum_{i=1}^N p_i \right) \left(G - \sum_{i=1}^N g_i \right) \\ & p_i g_i \leq \text{EIRP}_i, \forall i \\ & \sum_{i=1}^N p_i \leq P, \sum_{i=1}^N g_i \leq G, \end{aligned} \quad (4.1)$$

Burada P ve G toplam güç ve kazanç kısıtlarıdır. Lagrange çarpanları yöntemi kullanılarak

$$p_i = \sqrt{(P/G) \text{EIRP}_i}, \quad g_i = \sqrt{(G/P) \text{EIRP}_i} \forall i \quad (4.2)$$

bulunmuştur.

⁵³ İng. *Effective Isotropic Radiated Power*

4.2. Kuyruğa Dayalı Güç ve Işın Tahsisi (Neely ve Ark.[19])

Bu çalışmada aynı anda N ayrı noktaya iletim yapabilen bir çoklu ışın uydu sistemi ve zamana göre değişen bir kanal dikkate alınmıştır. Bu N noktaya iletilecek paketler uyduya rastgele bir şekilde gelmekte (i numaralı kullanıcı için λ_i paket/sn) ve iletilene kadar kuyrukta bekletilmektedir. Yazarlar bu çalışmada kararlı (kuyrukların sonsuza gitmediği yani bütün kullanıcılar için servis hızının paket geliş hızından büyük olduğu) bir sistem sağlayan paket geliş hızlarının ($(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)$) bölgesini karakterize etmişler ve bu bölgedeki her paket geliş hızı vektörü için kararlılığı sağlayabilen güç ve ışın tahsisi yöntemini bulmuşlardır. Buna göre aşağıdaki eniyileme problemi çözülmelidir.

$$\begin{aligned} & maks. \sum_{i=1}^N \theta_i U_i(t) \mu_i(p_i, c_i(t)) \\ & \sum_{i=1}^N p_i \leq P_{tot} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Burada θ_i herhangi bir katsayı, $U_i(t)$ i numaralı kullanıcıya iletilmek için kuyrukta bekleyen paket sayısı, $c_i(t)$ t anındaki kanal kazancı, ve $\mu_i(p_i, c_i(t))$ ise bu kanal değeri ve tahsis edilen güç değeri için ulaşılan iletim hızıdır. Alttaki denklem toplam güç kısıtını verir. $\mu_i(p_i, c_i(t))$ fonksiyonu gücün artan ve konkav bir fonksiyonu ise bu problem Lagrange çarpanları yöntemi ile çözülebilir.

4.3. Çoklu Işınlı Uydu Sistemlerinde Uyarlanırlı Kipleme ve Kodlama (Castro ve Granados [47])

Bu çalışmada çizelgeleme⁵⁴ problemi ele alınmıştır. Senaryo olarak Ka-bandında çalışan bir DVB-S2 sistemi düşünülmüştür. Bu sistemde kipleme ve kodlama kanala göre uyarlanarak daha yüksek kapasitelere ulaşılması amaçlanmaktadır. Kullanıcılara yapılan iletimde eldeki 28 adet kipleme/kodlama alternatifinden en iyisi (Belli bir bit hata oranını sağlayan ve en yüksek hıza ulaşan) seçilmektedir. Bu seçim kullanıcının sinyal bölü gürültü artı girişim oranına (SINR) göre yapılır. DVB-S2 sisteminde

⁵⁴ İng. *Scheduling*

kullanıcılardan uyduya olan iletimi bir Gateway gerçekleştirir ve bu aynı zamanda kullanıcıların kanal durumlarını öğrenip hangi kullanıcıya nasıl iletim yapılacağını hesaplar. Uydu bu çalışmada sadece Gateway'den aldıklarını çözmeden kullanıcılara iletmek ile görevlidir.

Bu çalışmada uydu gücünün kullanıcılara nasıl dağıtılacağı konusu düşünülmemiştir, sadece hangi kullanıcıya ne zaman iletim yapılacağı problemi üzerinde çalışılmıştır. Eldeki kipleme kodlama çiftleri en düşük hızlıdan en yükseğe göre sıralanır ve gerektirdikleri minimum SINR miktarları bir tabloda tutulur. Kullanıcının SINR oranına göre en iyi kipleme ve kodlama belirlenir. Bu çalışmada ayrıca kanaldaki yağmur ve parlamaya dayalı sinyal zayıflaması için zaman ve konuma bağlı korelasyonları da yansıtan bir kanal modeli önerilmiştir. Birbirine yakın olan kullanıcıların kanalları da birbirine çok benzer. Bu nedenle bu çalışmada kullanıcılar kanallarına göre gruplanmış ve birbiriyle aynı alanda bulunan kullanıcıların paketleri Gateway hafızasında beraber tutulmuştur. Bunun üzerine ikinci bir hafıza daha düşünülmüş ve burada kullanıcılar kipleme-kodlama seviyelerine göre gruplanmıştır. Bu sayede her kullanıcı için (binlerce) ayrı hafıza tutulmasının önüne geçilmiştir. Çizelgeleme olarak ise Round-Robin ve Ağırlıklı Round-Robin düşünülmüştür. İlkinde kullanıcılar sırasıyla hizmet görürken ikincisinde ise kullanıcılara aynı veri hızını sağlayacak şekilde veya iyi durumdaki kullanıcılara daha fazla veri hızı sağlayacak şekilde ağırlık verilir ve bu ağırlık ile doğru orantılı olarak kullanıcıya hizmet götürülür.

4.4. Çoklu Işınlı Mobil Uydu Sistemlerinde Uyarlanır Kaynak Tahsisi (Kim ve Ark. [22])

Bu çalışmada Ka-bandında işleyen bir yer uyumlu uydu ve CDMA tabanlı bir mobil haberleşme sistemi ele alınmıştır. Çoklu ışınlı uyduda 16 adet CDMA sırası vardır. Birbirine bitişik olan ışınlar arasında girişim vardır fakat bu girişim modeli verilmemiştir. Kullanıcıların her birinin birer hedef SINR değeri γ_u^* vardır. Kaynak tahsisi için öncelikle kullanıcılar seçilmektedir. Bu kullanıcı seçimi

$$w_{n,k} = (c_u)^{a_1} (\gamma_{u,pilot})^{a_2} (1/\gamma_{u,avg})^{a_3} (1+t/t_k) \quad (4.4)$$

kriterine göre yapılmaktadır. Burada c_u kullanıcı katsayısı , $\gamma_{u,pilot}$ kullanıcının SINR ölçümü , $\gamma_{u,avg}$ ortalama SINR, t şu andaki zaman, t_k ise gecikme sınırır. Kaç tane kullanıcı seçileceği konusunda bir bilgi verilmemiştir. Buradaki a_1 , a_2 , a_3 değerleri değiştirilerek değişik tipte seçimler yapılabilir. Kullanıcılar seçildikten sonra b ışınındaki, s frekans/zaman dilimindeki ve m kodunu kullanan kullanıcının gücü aşağıdaki dögümlü yöntem ile ayarlanır,

$$p_{b,s,m}(n+1) = \frac{\gamma_u^*}{\phi_{u,(b,s,m)}(n)} \quad (4.5)$$

Burada $\phi_{u,(b,s,m)}(n)$, n 'inci dögüde bu kullanıcının güncellenmiş SINR değeridir. Amaç minimum toplam güçle seçilmiş kullanıcıların SINR değerini hedef değerine getirmektir. Yalnız burada uydunun bir toplam güç kısıtı olması gerekir fakat böyle bir güç kısıtı algoritma geliştirilirken dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada ayrıca yağmur ve parlamaya dayalı sönümlenmeler modellenmemiştir. Kanal modellemesinde genişbant yer iletişimindeki gibi Rayleigh ve Gölgeleme gibi sönümlenmeler dikkate alınmıştır. Bu çalışmanın daha iyi açıklanmaya ve geliştirilmeye ihtiyacı vardır.

4.5. Çoklu Işınlı Uydularda Güç Tahsisi (Choi ve Chan [30])

Bu çalışmada çoklu ışınlı bir uydudan yerdeki hücrelere iletim ele alınmıştır. Her ışının düştüğü bölgede bir kullanıcı olduğu varsayılmıştır. Uydunun K adet ışını vardır ve elindeki P_{toplam} miktarındaki gücü bu ışınlara paylaştırmaktadır. Ayrıca kullanılan çoklu ışınlı antenlerin yapısı gereği her ışının ayrı güç kısıtı P_0 vardır. İlk olarak ışın sayısı kadar yani K adet kullanıcı olduğu varsayılmıştır. Her kullanıcının b/sn cinsinden bir veri hızı talebi F_i vardır. Bu çalışmada taleplerin sistem kapasitesinden fazla olduğu durumlar incelenmektedir. Daha önce belirttiğimiz gibi kullanıcı için erişilebilir veri hızı aşağıdaki gibidir.

$$C_i = W \log_2 \left(1 + \left(\frac{P_i \alpha_i^2}{WN_0} \right) \right) \quad (4.6)$$

Burada α_i^2 kanal kazancıdır ve önceki bölümde belirtilen zayıflama etkilerinin bileşimidir. P_i her bir hücreye aktarılacak güçtür. Kullanıcı taleplerini mümkün olduğu kadar karşılayabilmek için aşağıdaki problem kurulmuştur.

$$\min \sum_{i=1}^N (F_i - C_i)^2 \quad (4.7)$$

$$C_i = W \log_2 \left(1 + \left(\frac{P_i \alpha_i^2}{WN_0} \right) \right) \leq F_i \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i \leq P_{toplam} \quad (4.9)$$

$$P_i \leq P_0 \quad (4.10)$$

En iyiye sahip kaynak aktarımlarında yukarıda belirtilen kısıtlar kullanılır. Denklem (4.7)'deki belirtilen F_i i. hücredeki veri talebi, C_i i. hücreye uydu tarafından sağlanan kapasitedir. Amaç fonksiyonu (denklem 4.7) minimum yapılmaya çalışılır. Denklem (4.8)'de belirtilen uydu tarafından sağlanan Shannon kanal kapasitesi hücre taleplerinden küçük olmalıdır. Ayrıca denklem (4.9)'da belirtilen hücrelerdeki güçlerin toplamı, toplam güçten küçük olmalıdır. Denklem (4.10)'da ise bir hücrenin alabileceği maksimum güç ise P_0 ile belirtilir ve her bir hücreye aktarılacak olan güç bu değerden büyük olmamalıdır.

4.5.1. Dış Bükey⁵⁵ En İyileme

Bu problemde amaç fonksiyonu dış bükeydir ve kısıt kümesi dış bükey bir kümedir. Bu nedenle problem dış bükey en iyileme problemi olarak çözülecektir.

Uygulanacak olan en iyileme yönteminin dış bükey bir yöntem olması için fonksiyonun 2. türevinin 0'dan büyük olması gerekmektedir. Talep ve kapasiteden

⁵⁵ İng. *Convex*

oluşan başarımlar değerlerini en küçültmeyi⁵⁶ amaçlıyoruz. Dış bükey en iyileme yönteminden kısaca bahsedilecek ve daha sonra önemli bir dış bükey yöntemi olan Lagrange çarpanı yöntemine değinilecektir.

$$\begin{aligned}\frac{d(F_i - C_i)^2}{dC_i} &= 2C_i - 2F_i \\ \frac{d^2(F_i - C_i)^2}{dC_i^2} &= 2 > 0\end{aligned}\tag{4.11}$$

Uygulanacak yöntem dış bükey bir problemdir. Denklem (4.11)'de görüldüğü gibi kapasite ve talepten oluşan başarımlar fonksiyonunun 2. türevi 0'dan büyüktür.

Eniyileme mühendislik ve ekonomide önemli bir role sahiptir [31]. Çünkü bu alanlarda karşılaşılan pek çok problemde bir kazancın en büyütülebilmesi veya masrafın en küçültülebilmesi gereklidir ve bu kazanç ve masraf kullanılan kaynak parametreleri cinsinden bir amaç fonksiyonu ile ifade edilebilir. Normalde bu durumda türev alınıp sıfıra eşitlenir, fakat bu tür problemlerde genellikle amacın yanında bir takım kısıtlar da vardır, çünkü eldeki kaynaklar sonsuz olamaz. Amaç fonksiyonu ve kısıt eşitsizlikleri doğrusal veya doğrusal olmayan şekilde karşımıza çıkabilir ve bu tarz eniyileme problemleri doğrusal olan ve olmayan eniyileme algoritmaları ile çözülebilir [31]. N boyutlu bir uzayda bir amaç fonksiyonu $f(x)$ olsun $x \in S$ uzayı olsun [31]. En iyilemenin amacı x^* çözümünü bulmaya çalışmaktır [31]. $f(x^*) \leq f(x)$ tüm $x \in S$ için en küçültme problemidir veya $f(x^*) \geq f(x)$ $x \in S$ uzayı için en büyütme⁵⁷ problemidir [31]. Tüm uzaydaki en iyi değere sahip çözümler genel en iyi⁵⁸ x^* 'dir [31]. Genel en iyi bulunamadığında yerel en iyi⁵⁹ bulmak geçerli olabilir [31]. Yerel en iyi x_1^* $f(x_1^*) \leq f(x)$ tüm $x \in L$ $L \subset S$ eğer amaç fonksiyonu bir en iyi noktaya sahipse ve diğer yerel veya genel en iyiye sahip değilse bu tarz fonksiyonlara tek doruklu⁶⁰ denir [31]. Eğer amaç

⁵⁶ İng. *minimization*

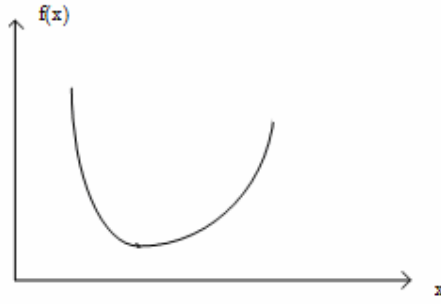
⁵⁷ İng. *maximization*

⁵⁸ İng. *global optima*

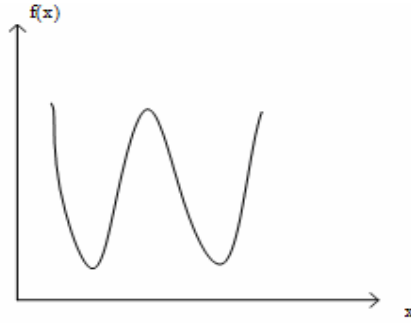
⁵⁹ İng. *local optima*

⁶⁰ İng. *unimodal*

fonksiyonu yerel veya genel birden fazla en iyi noktaya sahipse bu tarz fonksiyonlara çok doruklu⁶¹ denir [31].



Şekil 4.1. (a) Tek bir En İyi Değere Sahip Tek Doruklu Şekil [30]



(b) İki Genel En İyi Değere Sahip Çift Doruklu Şekil [30]

Lagrange Yöntemi: Lagrange Yöntemi dış bükey en iyileme problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir ve noktasal ışın demetleri tarafından aktarılan güç tahsisini en iyi yapmak için kullanılabilir. Bunun için çoklu ışınlu uydularda güç tahsisi en iyileme problemi kurulur (denklem 4.9). Her bir noktasal ışın demeti için en iyi güç tahsisi elde edilir [13]. Lagrange çarpanını belirten denklem Chan'ın çalışmasında belirttiği gibi denklem (4.12) ve denklem (4.15) ile gösterilir [30].

$$J(\bar{P}) = \sum_{i=1}^N (F_i - C_i)^2 + \sum_{i=1}^N \beta_i (P_i - P_0) + \lambda \left(\sum_{i=1}^N P_i - P_{toplama} \right) \quad (4.12)$$

Burada λ ve β_i Lagrange çarpanlarıdır ve bir tür fiyattırlar. Kısıt aşmanın sebep olduğu masrafı yansıtırlar. Daha açık yazarsak,

⁶¹ İng. *multimodal*

$$J(\bar{P}) = \sum_{i=1}^N \left(F_i - W \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_i^2 P_i}{WN_0} \right) \right)^2 + \sum_{i=1}^N \beta_i (P_i - P_0) + \lambda \left(\sum_{i=1}^N P_i - P_{toplam} \right) \quad (4.13)$$

Yukarıdaki ifadenin P_i 'ye göre türevi alınarak ve sifıra eşitlenerek aşağıdaki eşitlik bulunur,

$$2 \left(F_i - \frac{W}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{\alpha_i^2 P_i}{WN_0} \right) \right) \times \left(\frac{\alpha_i^2}{\ln 2 N_0} \right) \frac{1}{1 + \alpha_i^2 \frac{P_i}{WN_0}} = \lambda + \beta_i \quad (4.14)$$

$$F_i - \frac{W}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{\alpha_i^2 P_i'}{WN_0} \right) = \frac{(\lambda) \ln 2 N_0}{2} \left(\frac{1}{\alpha_i^2} + \frac{P_i'}{WN_0} \right) \quad (4.15)$$

$$P_i = \min(P_i', P_0)$$

Denklem (4.6)'daki Shannon kanal kapasitesi denklem (4.12)'de C_i yerine atanarak denklem (4.13) bulunur. Denklem (4.13)'ün P_i 'ye göre türevi alınır ve denklem (4.15) elde edilir.

Eğer $P_i < P_0$ ise $\beta_i = 0$ olur. Yukarıdaki denklemi $\beta_i = 0$ için çözeriz. Sonuçta çıkan P_i değeri P_0 'dan büyükse $P_i = P_0$ yapılır.

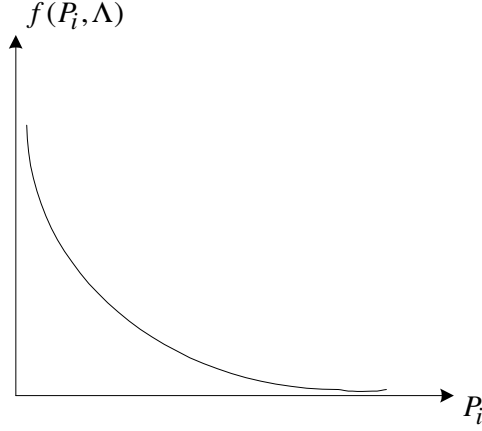
Newton Yöntemi: Denklem (4.15)'i çözmek için Newton yöntemi kullanılır.

Herhangi bir $f(x)$ fonksiyonu ve onun türevi $f'(x)$ olsun ilk noktamız da x_0 olsun.

$x_1 = x_0 - \frac{f(x)}{f'(x)}$ şeklindeki bir ifadeyi Newton yöntemi kullanarak çözebiliriz. Bizim

problemimizde bu fonksiyon aşağıdaki gibidir.

$$f(P_i, \lambda) = F_i - \frac{W}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{\alpha_i^2 P_i}{WN_0} \right) - \frac{\lambda \ln 2 N_0}{2} \left(\frac{1}{\alpha_i^2} + \frac{P_i}{WN_0} \right) \quad (4.16)$$



Şekil 4.2. $f(P_i, \Lambda)$ ve P_i Grafiği

Newton yöntemi ile genellikle 3 döngüde denklem çözülebilmektedir.

4.5.2. İkili Arama⁶² Algoritması:

Verilen bir λ için denklem (4.15) her ışın için çözüldüğünde herkesin P_i değerleri bulunur. $\sum P_i$ toplamı $P_{toplama}$ 'dan az veya fazla olabilir. Amacımız $\sum P_i = P_{toplama}$ olacak şekilde bir en iyi değeri bulmaktır. λ arttıkça güçler azalmaktadır. Bu monotonluktan faydalanarak, bir maksimum λ_{max} değeri belirlenirse 0 ve λ_{max} değerleri arasında bir ikili arama yapılarak $\sum P_i = P_{toplama}$ eşitliğini sağlayan λ^* değeri bulunabilir. Tabi ki eğer kanallar çok iyiye veya veri hızı talepleri azsa $P_{toplama}$ 'dan daha az güçle herkesin talebi karşılanabilir. Algoritmada öncelikle bu kontrol edilmelidir, eğer bu geçerli değilse ikili aramaya geçilmelidir.

1. Herkes için gerekli güç hesaplanır: $P_i^{req} = \frac{N_0 W}{\alpha_i^2} \left(2^{\frac{F_i}{W}} - 1 \right)$
2. $\sum P_i^{req} < P_{toplama}$ ise ve herkese $P_i = P_i^{req}$ kadar güç ver ve algoritmayı sonlandır.
3. $\sum P_i^{req} > P_{toplama}$ ise ikili aramaya geç.
4. $\lambda_{max} = \max(2g_i F_i / N_0 \ln 2)$ ve $\lambda_{min} = 0$ olsun.

⁶² İng. *Binary Search*

5. $\lambda = 0.5(\lambda_{\min} + \lambda_{\max})$ için Denklem (4.15)'i sağlayan P_i değerlerini bul (her ışın için)
6. $\sum P_i < P_{\text{toplama}}$ ise $\lambda_{\max} = \lambda$ yap, $\sum P_i > P_{\text{toplama}}$ ise $\lambda_{\min} = \lambda$ yap
7. $\left|1 - \sum P_i / P_{\text{toplama}}\right| < 0.001$ ise algoritmayı sonlandır. Değilse 5'e dön.
8. Denklem (4.8)'den C_i değerini ve denklem (4.7)'den başarımlar değerini hesapla.

Tezde, bu çalışma ile ilgili olan amaçlarımız şunlardır

1. Yukarıdaki problemi çözecek daha basit bir algoritma bulmak
2. Birbirine bitişik olan ışınların girişim nedeniyle aynı anda iletilemeyeceğini varsayarak alternatif algoritmalar geliştirmek. Bu amaçla kaynak tahsisini birden fazla zaman dilimine yayan bir kaynak tahsis algoritması önerilecektir.

4.6. Faz Dizilimli Antenli Uydularda Güç ve Işın Tahsisi (Choi, Chan [41])

[41]'de faz dizilimli antene sahip bir uydudan yeryüzünde dağılmış kullanıcılara iletim yapılan bir sistem işlenmektedir. Bu çalışmada kullanıcı sayısı ışın sayısından çok daha fazladır. [41]'de belirtildiği gibi dar ışınlı uydularda yere düşen minimum ışın çapı $\lambda L/D$ 'dir. Burada λ dalga boyu, L uydunun yerden yüksekliği ve D verici anten çapını belirtir [41]. Mesela 35800 km yükseklikte, 20GHz bandında iletim yapan 10m çapındaki antenin kapsama alanı 53.7km'dir. Bir ülkeyi bu şekilde kapsamak için binlerce ışın gereklidir. Bu imkansız olduğuna göre faz dizilimli anten yapılarını kullanarak yeryüzünde istenen yere ışını düşürmek ve bu şekilde yerdeki kullanıcılar arasında zaman bölüşümlü hizmet vermek daha mantıklıdır.

Önceki çalışmada olduğu gibi burada da kullanıcıların belli talepleri vardır ve bu taleplerin hepsinin karşılanması imkansızdır. Eğer gelen veri miktarı, sistem kapasitesi için çok fazla ise sıkışıklık kontrol parametresi uygulanır. Burada amaç kabul edilebilir bir kuyruk gecikmesi sağlanacak şekilde bu talepleri maksimum oranda karşılamak amacıyla uydudan hangi yer istasyonlarına ve ne kadar güç ile iletim yapılacağına karar vermektir. Bu amaçla bir sıkışıklık kontrol parametresi

tanımlanmıştır. Bütün kullanıcıların taleplerinin θ oranı karşılanacaktır. Sıkışıklık kontrol parametresi, GEO uydularındaki uzun yayılım gecikmesi için faydalıdır [41].

Çoklu ışınli uydularda Chan'ın belirttiği amaç fonksiyonu ve belirtilen kısıtlar şu şekildedir [41]

$$\text{maks.}(\theta) \tag{4.17}$$

Denklem (4.17) ile belirtilen amaç fonksiyonudur. Bu denklemde θ ile belirtilen sıkışıklık kontrol parametresidir. Bu parametre maksimum yapılmaya çalışılır. Bu değeri 0 ile 1 arasındadır. ($0 \leq \theta \leq 1$)

$$d_i(\theta A_i, z_i(t) C_i) \leq \Delta_i \tag{4.18}$$

Denklem (4.18)'de belirtilen d_i , i . kuyruğa ait ortalama kuyruk gecikmesidir. Δ_i ile belirtilen i . hücre için izin verilen en fazla ortalama gecikme süresidir. Ayrıca d_i , θA_i , $z_i(t)$ C_i 'ye, yani kanal kapasitesine bağlı bir fonksiyondur. A_i ile belirtilen ise talep edilen veri miktarıdır.

$$\sum_{i=1}^N \bar{z}_i \leq K \tag{4.19}$$

Denklem (4.19)'da belirtilen $z_i(t)$ ikili bir değişkendir ve i . hücreye hizmet sunulup sunulmadığını belirtir. Hizmet sunulduysa 1'dir sunulmadıysa 0'dır. Bu tamsayı kısıtı problemi zorlaştırdığı için ortalaması alınır ve \bar{z}_i sürekli değişken olarak kullanılır. K ve N ile belirtilen ise sırasıyla ışın demeti ve kullanıcı sayısıdır.

M/M/1 Kuyruk Türü: Uydularda bulunan sunuculardaki yönlendiricilere gelen verilerin varış süresi, servise verilme süreleri, verilerin zamana bağlı istatistiksel dağlılımları kuyruk teorisini oluşturur. Kuyruk teorisinde sistem parametrelerinin belirlenmesi verilerin varış süresi, servis süreleri, kuyruk kapasitesi ve sistemin genel yapısını etkiler.

Uydudaki her bir kuyruktaki ışın demetleri M/M/1 Kuyruğu oluştururlar. Bu model sunucu kuyruk modelidir ve bu türdeki kuyruk türünde servis süresi üstel dağılım şeklindedir. Kuyruktaki kullanıcılar servis yapılmadan önce bir süre beklerler.



Şekil 4.3. Uydu Sunucusunda Kuyrukta Biriken Veri ve İletilen Veri Parametreleri

Kuyruğa gelen ortalama veri oranı θA_i ve ortalama veri iletim oranı ise $\bar{z}_i C_i$ 'dir.

$$d_i = \frac{1}{\bar{z}_i C_i - \theta A_i} \leq \Delta_i \quad (4.20)$$

Belirtildiği gibi d_i her bir pakete ait gecikmedir. Δ_i ise i . kullanıcı için ortalama gecikme süresidir.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta_i} &\leq \bar{z}_i C_i - \theta A_i \\ \frac{1}{C_i \Delta_i} (\frac{1}{\Delta_i} + \theta A_i) &\leq \bar{z}_i \\ \frac{1}{C_i \Delta_i} + \frac{\theta A_i}{C_i} &\leq \bar{z}_i \end{aligned} \quad (4.21)$$

Denklem (4.20) kullanılarak denklem (4.21) elde edilir.

Yukarıdaki eniyileme sıkışıklık denetimi açısından iyidir fakat faz dizilimli antenlerde birbirine çok yakın iki kullanıcıya aynı anda iletim yapılırsa ışınlar arası girişim olma ihtimali çok yüksektir. Önceki bölümlerde Faz dizilimli antenlerden bahsederken belirtildiği gibi girişimi yenmenin iki yolu vardır 1) Girişimi En İyi Şekilde Basturmak 2) Girişimi Tamamen Yok Etmek. En İyi Girişim Bastırma yönteminde birbirine yakın olan kullanıcıların güçleri azaltılır fakat tamamen sıfırlanmaz. Böylece sinyal gücü ile girişim arasında bir denge sağlanır. Tam girişim

iptali yönteminde ise en iyi değildir fakat uygulanması ve analizi daha basittir. Biz de bu ikinci yolu seçeceğiz. [41]'deki benzetimlerden anlaşıldığı kadarıyla kullanıcı yoğunluğu çok fazla değilse ve SINR oranı biraz yüksekse bu yöntem en iyi yöntemde çok yakın başarımlar gösterir. Bunun tam karşıtı durumlarda zaten girişim eniyilemesi de iyi değildir ve kullanıcılara sırasıyla iletim yapılmalıdır. Önceki bölümde belirtildiği gibi tam girişim iptali için kanal kapasitesi denklem (4.22)'de belirtilmiştir [41].

$$C_i(t) = W \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_i^2 H_i P_i(t)}{WN_0} \right) \quad (4.22)$$

H parametresini ise kullanıcılar arasındaki uzaklık cinsinden şu şekilde ifade edebiliriz.

$$H_i = 1 - \text{sinc}^2 \left[\frac{D(x_i - x_k)}{\lambda L} \right] \text{sinc}^2 \left[\frac{D(y_i - y_k)}{\lambda L} \right] \quad (4.23)$$

Işın Seçimi:

Yukarıda \bar{z}_i parametresi 0 ile 1 arasında sürekli olarak varsayılmıştır, fakat bu gerçekte doğru değildir. Bir kullanıcı ya bir ışın tarafından hizmet görür ya da görmez. Bu nedenle bu makalede hangi kullanıcıların hizmet göreceğini belirleyen bir algoritma sunulmuştur. Seçilen kullanıcılar için en iyi (optimum) güç aktarımı ayrıca gerçekleştirilmiştir. Yöntemde 49 kullanıcı kullanılmıştır. Kullanıcılardan 20'si aktif hale getirilerek güç aktarılmıştır. Aşağıdaki algoritmaya göre kullanıcılar seçilir:

1. Ortalama gecikmeleri $\bar{d}_i = \Delta_i$ şeklinde sınırda olan kullanıcıları direkt olarak seç ve birbirlerine olan uzaklıklarına göre H_i parametrelerini (4.23)'e göre güncelle.
2. Kalan 'uygun' kullanıcılardan her seferinde $H_i \alpha_i^2 d_i^{\max}$ parametresini en büyükleyen kullanıcıyı seç. d_i^{\max} kuyruktaki en büyük paket bekleme süresidir. Burada uygun kullanıcı, daha önce seçilmiş kullanıcılara belli bir

mesafeden fazla uzaklıkta olan ($l_i \geq l^*$) olan kullanıcılardır. Bu sayede aktif kullanıcılara zarar vermeyen kullanıcılar seçilmiş olur. l^* eşik değerinin genellikle $0.1 \lambda L/D \leq l^* \leq 0.5 \lambda L/D$ olduğu söylenmektedir [41].

3. Kullanıcıyı ekledikten sonra herkesin H_i parametresini güncelle.
4. Bütün kullanıcılara baktıysan veya bütün ışınları bitirdiysen algoritmayı sonlandır.

Seçimler bittikten sonra kullanıcılara aktarılan güçler eniyenir. Burada her kullanıcı için

$$\lambda = \frac{H_i \alpha_i^2}{1 + \frac{H_i \alpha_i^2 P_i}{N_0 W}} \quad (4.24)$$

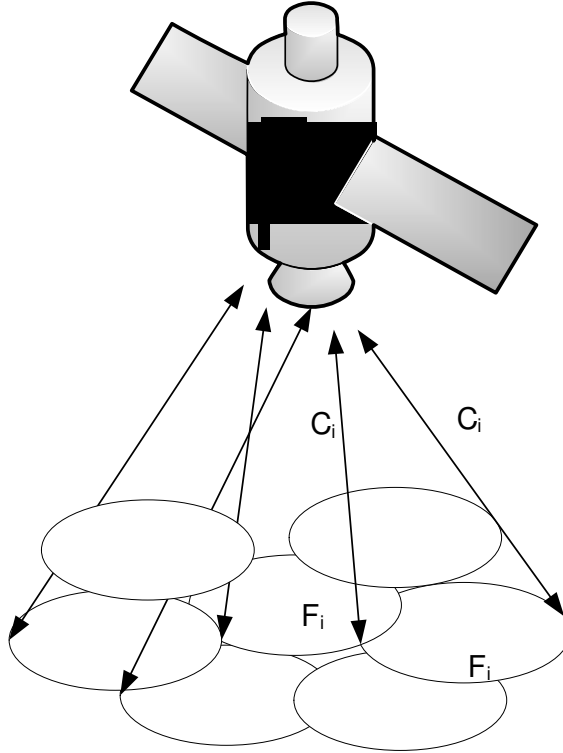
sağlanacak şekilde güçleri ayarlarız. Burada λ Lagrange çarpanıdır ve güçlerin toplamı P_{toplam} olana kadar ayarlanır. Daha önce bahsettiğimiz gibi burada da ikili arama algoritması uygulanabilir.

Bu çalışma ile ilgili geliştirilecek noktalar aşağıdaki gibidir.

1. Yukarıdaki algoritma deneme yanılma yoluyla bulunmuş bir $l^* = 0.25 \lambda L/D$ eşik değerine göre çalışmaktadır. Oysa ki eşik değeri kullanıcı yoğunluğuna göre değişmelidir veya kullanıcı seçimi için başka bir yol bulunmalıdır.
2. Kullanıcıyı seçerken seçilen kullanıcının kazancı artarken ona yakın ve daha önce seçilmiş kullanıcıların kazancı azalır. İşte kullanıcı seçiminde bu faktör de dikkate alınırsa başarımlar artırılabilir ve bir eşik değeri kullanmaya gerek kalmayabilir. Bu tezde böyle bir algoritma önerip başarımlarını inceleyeceğiz.

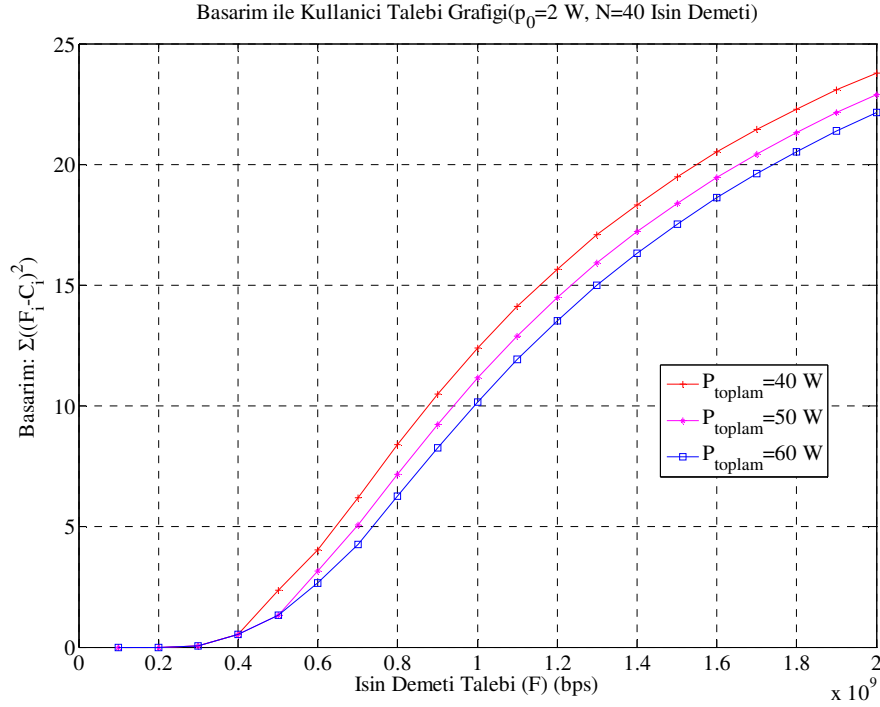
5. Çoklu Işınlı Uydularda Kaynak Tahsisi

Bu çalışmamızda Bölüm 4.5'te bahsedilen Choi ve Chan'ın [30] makalesinde önerilen çoklu ışın uydularda taleplere bağlı güç tahsisi algoritmasından daha basit fakat yakın başarıma sahip algoritmalar önermeyi amaçlıyoruz. Çizelge 5.1'de sistem parametreleri verilmiştir. N adet ışın demeti ve bunların düştüğü N adet hücre vardır. Hücrelerde F_i b/sn veri talebinde bulunan birer adet kullanıcı olduğu varsayılmıştır, fakat toplam F_i b/sn talepte bulunan ve kanal durumları aynı olan birden fazla kullanıcı için de aynı model geçerlidir. Denklem (2.1)'de anten modeli ve (4.6)'da erişilebilir veri hızı verilmiştir. Kullanıcı i için yol kaybı, anten kazancı, yağmur sönmülmesi ve parlama etkilerinin bileşimi g_i olarak ifade edilmiştir. Amaç denklem (4.7)'de belirtildiği gibi talep ve arz arasındaki farkların kareleri toplamını en küçültmektir.



Şekil 5.1. Talebi F_i olan i. Hücreye Uydu Tarafından Sağlanan Kapasite C_i

5.1. Bazı Ön Değerlendirmeler



Şekil 5.2. Lagrange Yöntemi [30] Sonucu Elde Edilen $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ ile F grafiği.

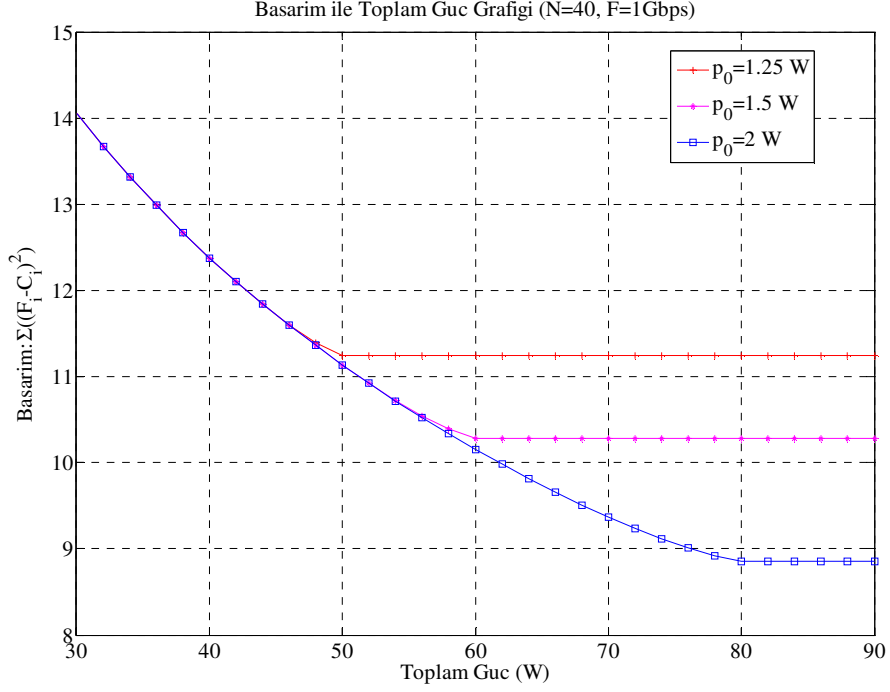
$P_0=2$ W, $N=40$ ışın.

Başarımı belirleyen F talep miktarı ile $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ arasındaki ilişkiyi belirten grafik

Şekil 5.2'de belirtilmiştir. Başarımı $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ belirtmektedir. Şekilde de belirtildiği

gibi hücre talebi arttıkça sistemin belirlenen talep ve kapasite arasındaki farkı artmaktadır yani başarımlar azalmaktadır. Uydudan yer istasyonuna iletilen toplam güç miktarı 40W,50W ve 60W olarak belirtilmiştir. Talep miktarı sabit alınır ise toplam güç ne kadar fazla olursa başarımlar da o denli iyi olmaktadır. Amacımız, başarımları

belirleyen amaç fonksiyonu olan $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ minimum yapmaktır.



Şekil 5.3. $\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)$ ile Toplam Güç Grafığı

Şekil 5.3’deki grafikte belirtildiği üzere ışın başına düşen maksimum güç arttıkça sistemin başarımı da iyileşmekte talebe karşılık gelen kapasite birbirini dengelemektedir ve en iyiye yakın sonuçlar ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Bir hücrenin alabileceği maksimum güç değeri P_0 sırası ile 1.25 watt, 1.5 watt ve 2 watt verilmiştir. Toplam güç sabit olduğunda P_0 değeri büyük olan hücre daha iyi bir başarıma sahiptir.

Yapılan uygulamada belirtilen kısıtların hepsi sağlanmış olup her bir hücre için gerekli olan güçler aktarılmıştır.

5.2. Geliştirilen En İyiye Yakın Algoritmalar

Bu bölümde kaynak tahsisi için birkaç alternatif algoritma sunacağız. Bu algoritmalar tarz olarak açgözlü algoritmalarıdır. Yani, adımlar halinde kaynak tahsisi yaparlar ve her adımda dikkate alınan kazanç ölçevini en büyüten kullanıcıya tahsis yapılı.

5.2.1. Amaç Fonksiyonunu En Çok Azaltan Yöntem

Bu algoritma taleplerle kapasitelerin farklarının karesinin toplamını her adımda en fazla azaltan tahsisi gerçekleştirmektedir. Her bir hücrenin ihtiyaçları doğrultusunda gerekli olan güçlerin aktarılması için bu yöntem geliştirilmiştir ve Lagrange yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Denklem (4.8), denklem (4.9) ve denklem (4.10)'daki kısıtlar sağlanmaya çalışılmıştır. Bunun için geliştirilen algoritmadan şu şekilde bahsedebiliriz.

Çizelge 5.1' deki parametrelerin tamamı bu yöntemde kullanılır.

1. Her hücreye gerekli talebi karşılamak için gereken güç miktarı denklem (5.1) ile ifade edilir.

$$P_i^{req} = \left(WN_0 \left(2^{F_i/W} \right) - 1 \right) / g_i \quad (5.1)$$

2. Güç ihtiyacı karşılanan hücreleri tutan değişken, her bir hücre için güçlerin başlangıçta 0 olarak belirlenmesi ve geriye kalan gücün toplam güce eşitlenmesi (5.2) ile yapılır.

$$P_i^b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}_{Nx1}, \quad P_i = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}_{Nx1}, \quad P^{kalan} = P_{toplam} \quad (5.2)$$

3. Uygulamada denklem (4.7) ile her bir hücreye ait talep ile kapasite arasındaki farkın karesi alınmıştır. Henüz güç aktarılmamış ($P_i^b = 0$) olan kullanıcılar içinden Denklem (5.3)'deki değeri en büyük olan hücre bulunarak bu hücrenin alabileceği maksimum değer olan P_0 , o hücreye ait gerekli güç ve artan güçten minimum olanı atanır. Denklemde N ışın demeti sayısını, P^{kalan}

kalan gücü gösterir. Denklem (5.3)'deki P_i^b ifadesi ise her güç atanmasında güncellenir.

$$U_i = \left(F_i^2 - \left(F_i - W \log_2 \left(1 + g_i \min(P_0, P_i^{req}, P^{kalan}) / WN_0 \right) \right)^2 \right) (1 - P_i^b) \quad (5.3)$$

4. Seçilen kullanıcı i^* kullanıcısı ise $P_{i^*}^b = 1$, $P_{i^*} = \min(P_0, P_i^{req}, P^{kalan})$ ve $P^{kalan} = P_{toplama} - \sum P_i$ yapılır.
5. $P^{kalan} = 0$ oluncaya kadar veya her kullanıcı için $P_i^b = 1$ oluncaya kadar 4 ve 5. adımlar tekrarlanır.

5.2.2. Kanal Kazancı Orantısı Yöntemi:

Amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntemden farklı olarak hücrelere aktarılan güçler kanal kazançları ile doğru orantılı olarak tahsis edilmiştir. Denklem (4.7)'deki amaç fonksiyonu ile Denklem (4.8) (4.9) ve (4.10)'da belirtilen kısıtlar sağlanmıştır. Uygulamada amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntemdeki veriler kullanılmıştır. Yöntemden şu şekilde bahsedebiliriz.

1. Her hücreye gerekli talebi karşılamak için gereken güç miktarı denklem (5.1) ile ifade edilir.
2. Güç ihtiyacı karşılanan hücreleri tutan değişken, her bir hücre için güçlerin başlangıçta 0 olarak belirlenmesi ve geriye kalan gücün toplam güce eşitlenmesi (5.2) ile yapılır.
3. Her hücre kalan güçten en fazla kendi gücü oranında pay alır. Eğer bu pay maksimum ışın gücü P_0 'dan yüksekse P_0 kadar verilir. Kullanıcının toplam gücü ona gereken güçten fazla oluyorsa gereken kadar verilir.

$$P_i = \min \left(P_0, P_i^{req}, P_i + P^{kalan} \frac{(1 - P_i^b) g_i}{\sum_{i=1}^N (1 - P_i^b) g_i} \right), \forall i \quad (5.4)$$

4. Bir i kullanıcısı P_0 veya P_i^{req} kadar güç aldıysa $P_i^b = 1$ yapılır.

$$P^{kalan} = P_{toplam} - \sum_{i=1}^N P_i \text{ yapılır.}$$

5. $P^{kalan} = 0$ oluncaya kadar veya her i için $P_i^b = 1$ oluncaya kadar 3 ve 4üncü adımlar tekrar edilir.
6. Denklem (4.7) ile başarımlar grafiği incelenir.

5.2.3. Kanal Ters Orantısı Yöntemi:

Kanal kazancı ile güç ters orantılı olarak da dağıtılarak uygulama geliştirilmiştir. Bu yöntemin kanal kazancı orantısı yönteminden farkı, kanal kazancı yüksek olan hücreye daha az güç dağıtılmıştır. Kanalı daha kötü olan kullanıcının daha çok güce ihtiyacı olabileceği fikriyle ters orantı kullanılmıştır.

$$P_i = \min \left(P_0, p_i^{req}, P_i + P^{kalan} \frac{(1 - P_i^b) / g_i}{\sum_{i=1}^N (1 - P_i^b) / g_i} \right), \forall i \quad (5.5)$$

5.2.4. Güç Orantısı Yöntemi:

Kanal kazancı orantısı ve kanal ters orantısı yöntemindeki uygulamalar benzer şekilde geçerlidir. Hücrelere atanacak olan güçler her birine atanmış olan gerekli güçlerle orantılı bir şekilde dağıtılmıştır. Kanal kazancı orantısı algoritmasından farkı Denklem (5.4) yerine denklem (5.6) kullanılmasıdır. Bir de 4.adımda $p_i^{req} = \left(WN_0 \left(2^{F_i/W} \right) - 1 \right) / g_i$ şeklinde bir güncelleme yapılır. Yani burada p_i^{req} şundan itibaren talebi karşılamak için gereken ekstra güç olarak tanımlanmıştır.

$$P_i = \min \left(P_0, P_i + \min \left(p_i^{req}, P^{kalan} \frac{(1 - P_i^b) p_i^{req}}{\sum_{i=1}^N (1 - P_i^b) p_i^{req}} \right) \right) \quad (5.6)$$

5.2.5. Benzetim Sonuçları:

Çizelge 5.1. Sistem Parametreleri

Parametre	Benzetim Değeri	Birimi
c ışık hızı	$3 \cdot 10^8$	Metre/saniye
f frekans	$20 \cdot 10^9$	Hertz
λ (dalga boyu)	0.015	Metre
W (bant genişliği)	$54 \cdot 10^6$	Hertz
N_0 (gürültü gücü spektral yoğunluğu)	$10^{-20.7}$	Watt/Hz
D (verici anten çapı)	0.6	Metre
d (alıcı anten çapı)	5.3	Metre
L (uydu yüksekliği)	35800000	Metre
N (ışın demeti sayısı)	40	
P_0 (Hücrelerin alabileceği maksimum güç değeri)	2	Watt
P_{toplam} (uydudan yere yayılan güç)	40	Watt
Kanal modeli	Yağmur: log-normal (ort. 10dB, std. sap. 1dB) Parlama: log-normal (ort. 0dB, std. Sap. 0.5dB)	
Toplam talep $\sum F_i$	$25 \cdot 10^6$	Bit/saniye
C (kanal kapasitesi)	Denklem 4.6	Bit/saniye

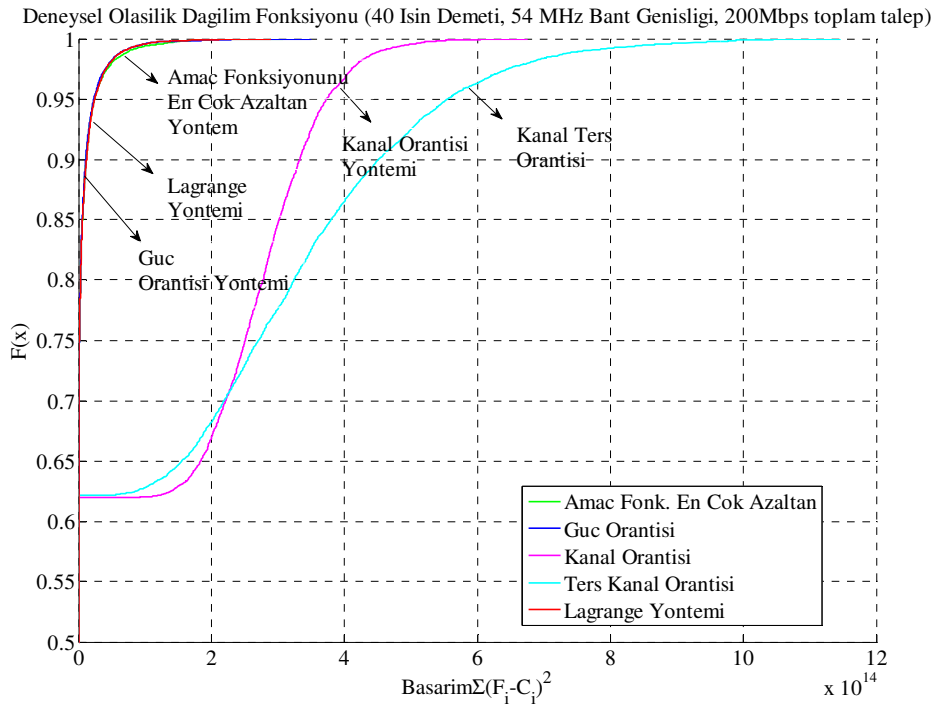
Kullanıcı talepleri ve kanal kazançları rastgele şekilde değiştirilerek 10000 adet durum için her bir hücreye uydudan gönderilen güç, belirtilen kısıtlar kullanılarak aktarılmıştır. Güç aktarıldıktan sonra kanal kapasitesi denklem (4.6) kullanılarak

bulunmuştur. Her bir hücre için toplam olarak 200 Mbps, 400 Mbps, 600 Mbps ve 800 Mbps'lık gibi veri talepleri yapılmıştır. Başarım değerini belirten

$\sum_{i=1}^N (F_i - C_i)^2$ değerinin dağılım grafiği çizdirilmiştir. Yöntemler en iyi sonuç veren

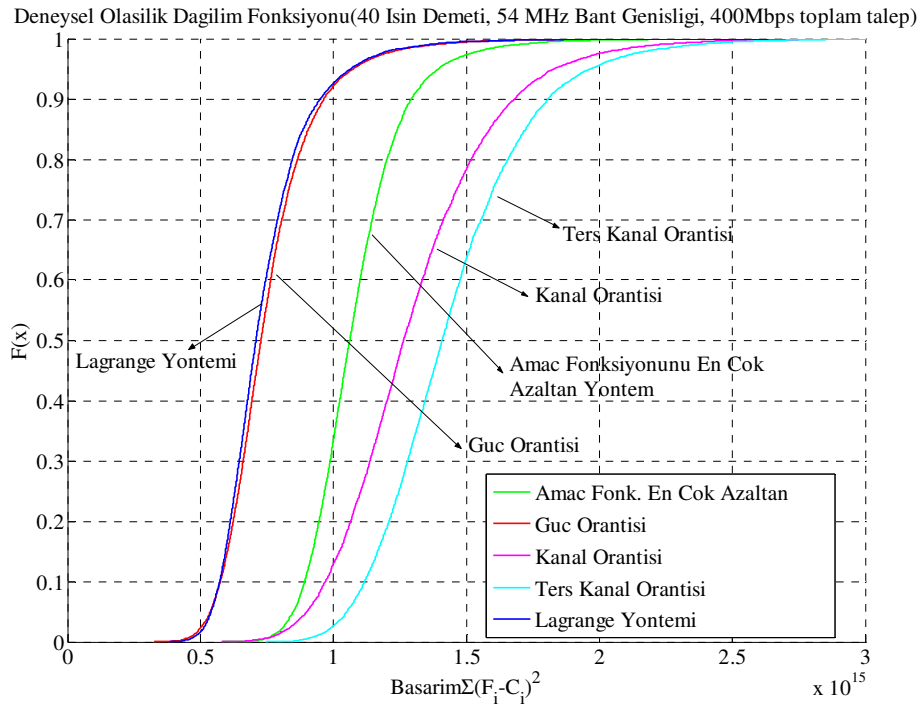
Lagrange Yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Güç Orantısı Yöntemi en iyiye yakın bir sonuç vermektedir. Ayrıca talep miktarı tüm hücelere farklı aktarılmıştır. Tüm algoritalarda aynı değerler kullanılmıştır.

Kanal modellemesinde yol kaybı, Gauss gürültüsü, yağmur sönmülmesi ve parlama dikkate alınmıştır. Yağmur ve parlama sönmülmesi log-normal bir dağılıma sahip bir rastgele değişken olarak modellenmiştir. Çizelge 5.1'de bu dağılımların dB cinsinden ortalama ve standart sapmaları verilmiştir. Bu değerler bu şekilde seçilirken [44]'te verilen dağılım grafiklerine benzer bir görüntü verecek şekilde deneme yanılma yöntemiyle seçilmiştir. Gelecek çalışmalarda daha doğru ve analitik kanal modelleri kullanılması hedeflenmiştir.



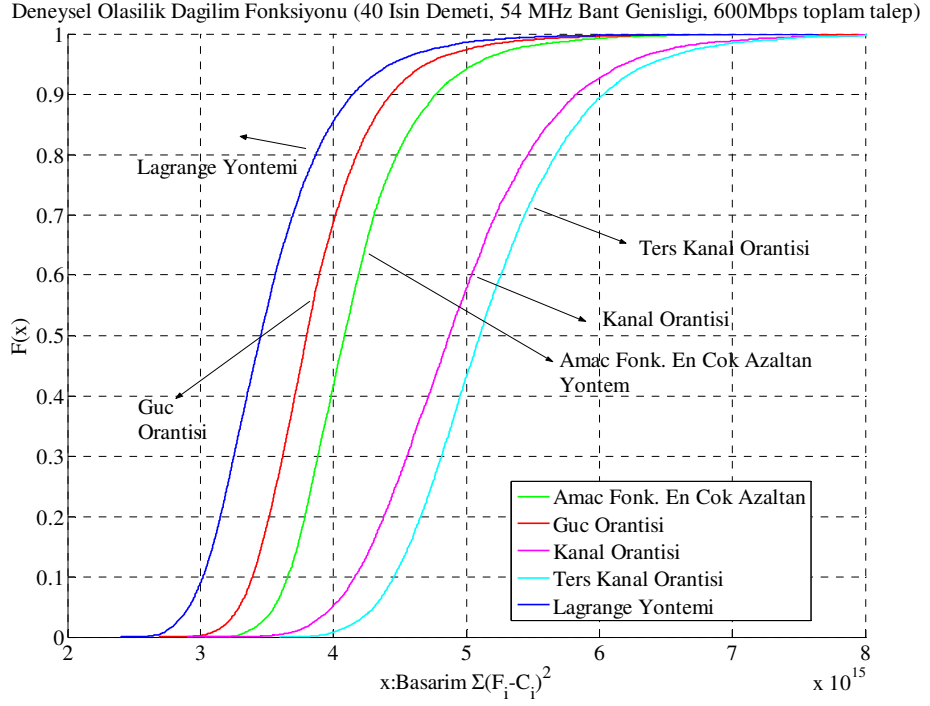
Şekil 5.4. Toplam Talebi 200 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının Kıyaslanması

40 Işın demeti, 54 Mhz bant genişliği, 200 Mbps toplam talep için başarımlar durumu incelenmiştir. Burada kullanıcıların bireysel talepleri rastgele dağılmıştır ve minimum olarak toplam talebin 80’de biri olabilirler, maksimum olarak ise toplam talebin tamamı bir kullanıcıya ait olabilir. Yapılan benzetimlerde Şekil 5.4’teki başarımlar grafiği incelediğinde amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntem, güç orantısı ve Lagrange yöntemi birbirine çok yakın değerler vermiştir. Kanal orantısı ve ters kanal orantısı en kötü başarımlı yöntemlerdir. Belirtilen veriler bazında kanal ters orantısı en kötü yöntem olarak belirtilmiştir.



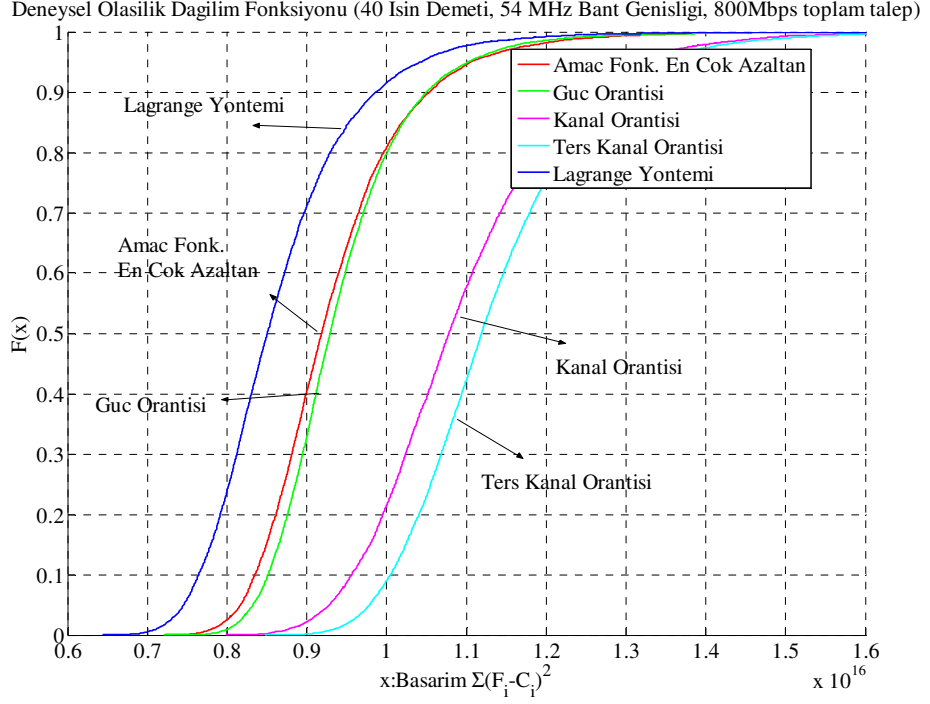
Şekil 5.5. Toplam Talebi 400 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının Kıyaslanması

400 Mbps toplam talep için Şekil 5.5’teki başarımlar grafiği incelendiğinde güç orantısı yönteminin en iyi yöntemle neredeyse aynı başarımları gösterdiği görülmüştür. Ondan sonra amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntem gelmektedir. Güç orantısı muhtemelen herkese belli bir miktar güç vermeye meyilli olduğu için bir adillik ve başarımlar iyileşmesi sağlamaktadır. Bu iki algoritmadan sonra Kanal Orantısı ve Ters Kanal Orantısı gelmektedir. Veri talebi arttıkça başarımların kötüleştiği gözlemlenmektedir.



Şekil 5.6. Toplam Talebi 600 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının Kıyaslanması

Şekil 5.6'da 600Mbps toplam talep için başarımlar grafiği görülmektedir. Başarımlar grafiğini incelediğimizde en iyi olmayan yöntemler içinde Lagrange yöntemine en yakın olan yöntemin Güç Orantısı olduğu görülmüştür. Diğer yöntemlerin başarımlar sıralaması Şekil 5.5 ile aynıdır.



Şekil 5.7. Toplam Talebi 800 Mbps olan Hücrelerin Başarımlarının Kıyaslanması

Son olarak Şekil 5.7’de 800 Mbps toplam talep için başarımlar grafiği görülmektedir. Burada ilginç bir şekilde amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntem güc orantısına göre biraz daha iyi çıkmaktadır. Yine de başarımları arasında çok fark yoktur.

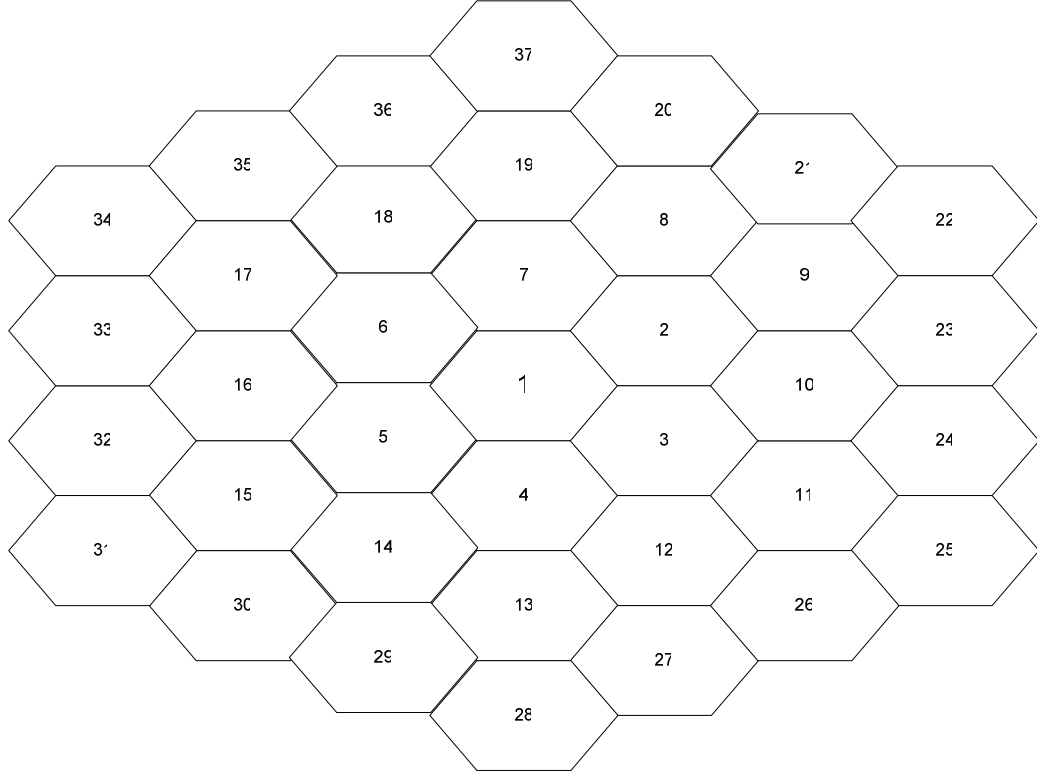
Genel olarak başarımlar grafikleri incelendiğinde geliştirilen güc orantısı yöntemi en iyiye yakın sonuçlar vermiştir. Daha sonra amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntem ve kanal kazancı yöntemlerini sıralayabiliriz.

Uygulamaların hepsinde $N = 40$, $P_{toplam} = 40$ watt ve $P_0 = 2$ watt olarak kullanılmıştır. Ayrıca başarımlar grafiği incelenirken denklem (4.7)’nin kümülatif dağılımı çizdirilmiştir.

5.3. Komşu Işımlar Arasında Girişim

Işın demetleri arasında girişim olmadığında daha önceki bölümde belirttiğimiz denklem (4.7) kullanılarak başarımlar grafiği elde edilmişti. Bu bölümde girişim durumları göz önüne alınarak sistemin başarımlarını belirleyen denklem (4.7) incelenmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi ışın demetleri arasındaki komşuluk girişime neden olan başlıca unsurdur. Bu yüzden yapılan uygulamada komşu olan ışın demetleri farklı zaman dilimlerine atanmıştır. Böylece girişimin oluşturacağı sinyal gücünün zayıflaması ve başarımlar üzerindeki etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Daha sonra farklı zaman dilimlerindeki ışın demetlerine güç tahsisi sağlanmıştır. Komşuluk yapısına göre başarımlar grafiği test edilmiştir. Uygulanan yöntemde amaç fonksiyonunu en çok azaltan ışın demeti bulunarak komşu olan diğer ışın demetleri ile farklı zaman dilimlerinde iletilmiş daha sonra ise ışın demetlerine güç tahsisi sağlanmıştır.

Yapılan uygulamada Çizelge 5.1’de belirtilen parametreler kullanılmıştır. Işın demeti sayısı 37 olarak alınmıştır. Şekil 5.8’de belirtilen altıgen yapısı göz önüne alınarak komşuluk oluşturulmuştur. Şekil 5.8’e bakılarak uygulamada komşu ışın demetleri 1, komşu olmayan ışın demetleri ise 0 olarak alınmıştır. Örneğin şekilde 28. ışın demeti, 13. ışın demeti, 27. ışın demeti ve 29. ışın demeti ile komşudur diğerleri ile değildir.



Şekil 5.8. Uygulamada Kullanılan Altıgen Işın Demeti Komşuluk Yapısı

37x11'lik zaman dilimi matrisi oluşturulmuş. Burada 37 ışın demeti sayısını 11 ise zaman dilimi vektörü uzunluğunu belirtir. Amaç şekil 5.8'de belirtilen komşu ışın demetlerini farklı zaman dilimlerine yerleştirmektir. Komşu olmayanları ise aynı zaman diliminde kullanılabilir. Işın demetleri 1'den fazla zaman diliminde iletim yapabilir. Işın demeti sayısı N ile zaman dilimi uzunluğu ise Z ile ifade edilmiştir. Geliştirilen algoritma şu şekildedir.

- Bütün hücreler için $C_i = 0, P_{i,t} = 0$ olarak başlat
- $t = 1 : Z$
 1. $P^{kalan} = P^{toplam} - \sum P_{i,t}$ yap
 2. Bütün hücreler için $r_i^{req} = F_i - C_i, P_{i,t}^b = 0$ yap
 3. Bütün hücreler için $p_i^{req} = N_0 W \left(2^{r_i^{req}/W} - 1 \right) / g_i$ yap
 4. Aşağıdaki değeri en büyüten kullanıcı seçilir.

$$\left((F_i - C_i)^2 - \left(F_i - C_i - \frac{W}{Z} \log_2 \left(1 + g_i \min(P_0, p_i^{req}, P^{kalan}) / WN_0 \right) \right)^2 \right) (1 - P_{i,t}^b) \quad (5.7)$$

5. Seçilen kullanıcı için $P_{i,t} = \min(P_0, p_i^{req}, P^{kalan})$ yap

6. i kullanıcısının ulaştığı veri hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$C_i = \sum_t \frac{W}{Z} \log_2 \left(1 + g_i P_{i,t} / WN_0 \right) \quad (5.8)$$

7. Bir i hücresi t zaman diliminde P_0 veya p_i^{req} kadar güç aldıysa $P_{i,t}^b = 1$

yapılır. Ayrıca ileti yapan ışınlarla komşu olan ışınlar için de $P_{i,t}^b = 1$.

Bunlara bu zaman diliminde kaynak ayrılmaz.

8. $P^{kalan} = 0$ oluncaya kadar veya her i için $P_{i,t}^b = 1$ oluncaya kadar 1.- 6.

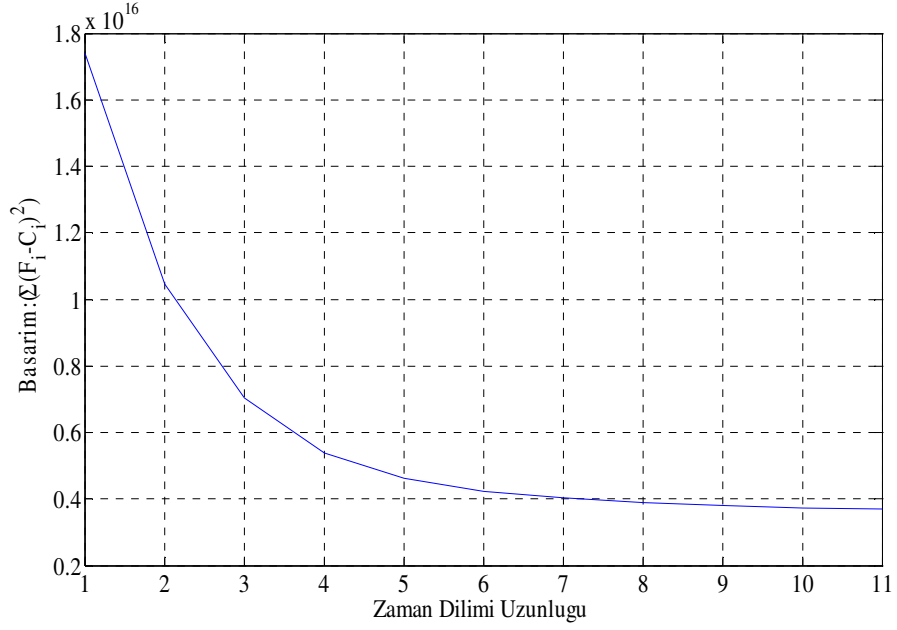
adımlar tekrar edilir.

- Başarım ölçüvi $(F_i - C_i)^2$ şeklinde hesaplanır

Sonuç olarak bir ışın demeti farklı zaman dilimlerinde iletim yapabilmiş. Birbirine komşu olan ışın demetleri farklı zaman dilimlerine ayrılarak iletim yapabilişlerdir. Girişime neden olan komşu ışın demetleri farklı zaman dilimlerine ayrılarak girişimin etkisinden kaçınılmıştır.

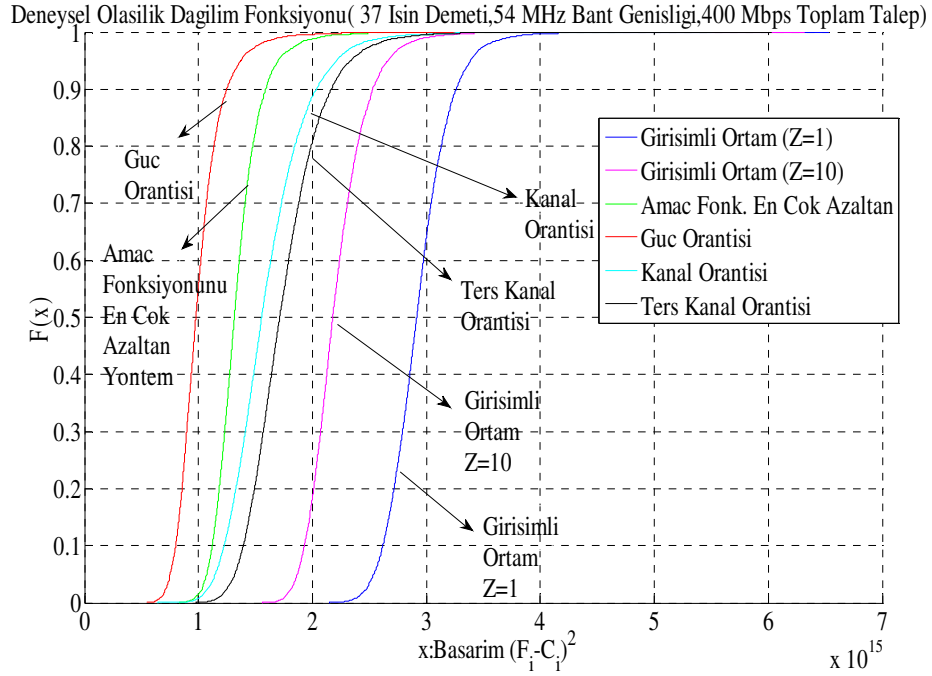
5.3.1. Benzetim Sonuçları

Bu benzetim çalışmasında bir önceki benzetim çalışması ile aynı parametreler kullanılmıştır. Kaynak tahsisi için kullanılan zaman aralığı 1'den 11'e kadar artırılarak başarıma etkisi incelenmiştir. Her bir zaman dilimi sayısı için 10000 adet kanal durumu ve veri hızı talebi için algoritma çalıştırılmış ve ortalaması alınarak Şekil 5.9 çizilmiştir.



Şekil 5.9. Başarım-Zaman Dilimi Uzunluğu Grafiği

Şekilde 5.9'da belirtildiği gibi zaman dilimi uzunluğu (T) arttırıldığında başarımın iyi duruma geldiği gözlemlenmiştir. Burada denklem (4.7)'de belirtildiği gibi F ve C zaman dilimi arttırıldığında birbirine yaklaşmaktadır. Kaynak tahsisi ve çizelgelemeyi sadece tek bir zaman diliminde düşünmenin ne kadar yanlış olacağı bu benzetimler sonucunda anlaşılmıştır. Belli bir zaman dilimi sayısından sonra başarımın çok da iyileşmediği görülmektedir. Dört zaman diliminin iyi bir başarım için yettiği çıkarımı yapılabilir.



Şekil 5.10. Toplam Talebi 400 Mbps olan Girişim Ortamında Geliştirilen Girişim Yöntemi ile Girişim Olmayan Ortamda Geliştirilen Yöntemlerin Başarımlarının Kıyaslanması

Belirtilen grafikte 37 Işın Demeti 54 Mhz bant genişliği ve 400 Mbps'lık veri talebi için girişim ortamında geliştirilen yöntem ile daha önce girişim olmayan durumlarda geliştirdiğimiz algoritmalar kıyaslanmıştır. Girişimli ortam yönteminde zaman dilimi uzunluğu grafikte Z ile gösterilmiştir 1 ve 10 birim olarak alınmıştır. Şekilden de anlaşılacağı gibi girişim yönteminin başarımı daha düşük görülmüştür.

Girişim ortamında geliştirilen yöntemde zaman dilimi uzunluğu 1,4 ve 10 birim alınarak başarımı incelenmiştir. Zaman dilimi uzunluğunun 4 ve 10 birim alınması başarımda çok farklılık göstermez ancak 1 birime göre daha iyi bir başarımlar gösterir.

Veri talepleri 200 Mbps, 400 Mbps,600 Mbps ve 800 Mbps için, güç oranı yöntemi, amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntem, kanal oranı yöntemi, kanal ters oranı yöntemi ve girişimli ortamda geliştirilen yöntem karşılaştırılmıştır. Veri talepleri arttıkça tüm algoritmaların başarımların değerleri düşmüştür. Girişim ortamındaki yöntemde zaman dilimi uzunluğu arttıkça başarımların değeri 200 Mbps'lık veri talebinde daha çok artmıştır. Veri talebi 400 Mbps, 600 Mbps ve 800 Mbps

yapıldığında zaman dilimi uzunluğunu arttırmak girişimli ortam yönteminin başarımını arttırmıştır ancak gözle görülür bir artış gözlenmemiştir.

5.4. Sonuçlar

Yüksek kapasitede ve kalitede uydu iletişim sistemleri için bant genişliğini tekrar tekrar kullanan çoklu ışınlar kullanmalıyız. Maksimum kapasiteye sahip frekans bant genişliği, uydu iletim gücünü en verimli şekilde kullanan kullanıcı dağılımları ve ışın demetleri arasındaki girişim ile başa çıkan eniyileme yöntemleri uygulanmalıdır. Bu bölümde iki katkımız oldu. Bunların birincisinde Lagrange çarpanı tabanlı bir eniyilemeye dayanan bir kaynak tahsisi yöntemine alternatif olarak çok daha basit bir ‘aç gözlü’ algoritma önerdik. Bu algoritmanın başarımının en iyi yöntem ile neredeyse aynı olduğunu gördük. İkinci katkımız ise ışınlar arası girişimi dikkate almak oldu. Birbirine komşu ışınların aynı anda iletilemeyeceği şeklinde bir kısıt getirerek kaynak tahsisini zaman dilimlerine yayan bir algoritma önerdik. Benzetim sonuçlarına göre daha çok zaman dilimi kullandıkça başarımın iyileştiğini gördük.

6. Faz Dizimli Antenlerde Kaynak Tahsisi

Bu çalışmada faz dizimli bir antene sahip olan Ka-bandı uydudan yerdeki kullanıcılara iletimi dikkate alacağız. Daha önce bahsedildiği gibi faz dizimli antende ışınlar için bir bireysel maksimum güç kısıt yoktur, sadece toplam güç kısıt vardır. Bu kaynak tahsisini kolaylaştırmaktadır. Yalnız burada çok daha dar ışınlarla yerdeki dağıtık konumlandırılmış kullanıcılara iletim yapıldığı için birbirine yakın ışınlar arası girişim problemi vardır. Bu girişimi kontrol altına almanın iki yolu vardır [41]. Birincisi en iyi girişim bastırımıdır ve bir en iyileme problemi çözmek gerektiğinden zordur. İkincisi ise tam girişim bastırımıdır ve başarımı birincisine göre daha kötüdür. Yalnız [41]'de belirtildiği ve daha önce söylediğimiz üzere, bu ikisi arasındaki başarımların farkı, özellikle nispeten yüksek SINR ve az kullanıcı yoğunluğunda çok azdır. Zaten çok düşük SINR ve yakın kullanıcıları olduğu durumda zaman bölüşümlü olarak iletim ikisinden de iyidir. Bu nedenle bu çalışmada tam girişim bastırımı kullanarak kullanıcılar arası güç ve ışın tahsisini inceleyeceğiz.

[41]'de talebin kapasiteden fazla olduğu durumda mümkün olan en fazla oranda trafiği (belli bir ortalama gecikme kısıtını dikkate alarak) sisteme kabul etmek amaçlanmıştır. Biz ise bu çalışmamızda böyle bir amaç yerine aşağıdaki kritere göre kaynak tahsisi yapmayı amaçladık.

$$\text{maks} \left\{ \sum_{i=1}^N Q_i R_i \right\} \quad (6.1)$$

Burada R_i kullanıcıya tahsis edilen güç ve diğer kullanıcının konumlarına göre belirlenen erişilebilir veri hızıdır. Q_i ise kullanıcıya has bir parametredir. Örneğin, Q_i iletmek üzere kuyrukta bekleyen paket sayısı olabilir ve bu durumda sistem, kararlı hale getirilebilecek bütün paket geliş oranları için kararlı hale getirilir [19]. $Q_i = 1/\bar{R}_i$ kullanılırsa (\bar{R}_i kullanıcının aldığı ortalama veri hızı) bu durumda

orantısal adillik⁶³ sağlanır. En basit şekilde $Q_i = 1$ seçilirse sadece veri hızı dikkate alınır. Daha önce belirtildiği gibi erişilebilir hız aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_i = W \log_2 \left(1 + \frac{g_i H_i P_i}{W N_0} \right) \quad (6.2)$$

H_i parametresi ise tam girişim bastırımı sonucu iletim gücünün ne kadar azaldığını ifade eden 1'den küçük bir sayıdır ve (6.3) denkleminde göre belirlenir. İletim yapılan en yakın diğer kullanıcı ile aradaki mesafeye bağlı bir parametredir.

$$H_i = \min_{k \in S, k \neq i} \left\{ 1 - \text{sinc}^2 \left[\frac{D(x_i - x_k)}{\lambda L} \right] \text{sinc}^2 \left[\frac{D(y_i - y_k)}{\lambda L} \right] \right\} \quad (6.3)$$

Burada $S = \{k : P_k > 0\}$ kümesi iletim yapılan kullanıcılar kümesidir. Bu problemde eniyi çözümü bulmak oldukça zordur çünkü seçilen bir kullanıcı diğer kullanıcıları da etkilemektedir. Bir kullanıcının kuyruk uzunluğu ve kanal kazancı çok yüksek olabilir fakat onu seçmek hali hazırda seçilmiş kullanıcıların başarımını düşürebilir veya ondan sonra ona yakın bazı kullanıcıların seçilmesine engel olabilir. Aşağıda önerdiğimiz algoritmayı veriyoruz. K adet ışın vardır o nedenle en fazla K adet kullanıcı seçilebilir. Algoritmada öncelikle seçilecek kullanıcılara eşit güç tahsisi yapacak şekilde kullanıcı seçimi yapacağız. Daha sonra güç eniyilemesi de yapılacaktır.

6.1. Faz Dizilimli antenler için Işın Tahsisi (FDIT):

1. $S = \emptyset$ ve $P_i = 0, \forall i$ olarak başlat
2. S kümesine dahil olmayan her kullanıcı için, o kullanıcı eklendiğinde oluşacak kazanç artışı hesaplanır. Burada $H_k^{S \cup i}$ parametresi halihazırdaki iletim yapılmak üzere seçilen S kümesine i kullanıcısı eklendiğinde k kullanıcısının H_k parametresinin aldığı değerdir. $|S|$ değeri S kümesinin eleman sayısıdır. Toplam güç $|S|$ eşit parçaya bölünür.

⁶³ İng. *Proportional Fairness*

$$\Delta U^i = \sum_{k \in S \cup i} Q_k W \log_2 \left(1 + \frac{g_k H_k^{S \cup i} P_{toplam}}{N_0 W (|S| + 1)} \right) - \sum_{k \in S} Q_k W \log_2 \left(1 + \frac{g_k H_k^S P_{toplam}}{N_0 W |S|} \right), \forall i \notin S \quad (6.4)$$

3. $\max_{i \notin S} \Delta U^i \leq 0$ ise yani hiçbir kullanıcının eklenmesiyle kazanç artmıyorsa o zaman algoritmayı bitir.
4. $\max_{i \notin S} \Delta U^i > 0$ ise o zaman $i^* = \arg \max_{i \notin S} \Delta U^i$ kullanıcıasını seç ve S kümesine ekle.
5. $|S| = K$ olduğunda algoritmayı bitir. Değilse 2. adıma dön.

Işın tahsisi bittikten sonra güç tahsisi yapılabilir. Burada S kümesindeki her kullanıcı için

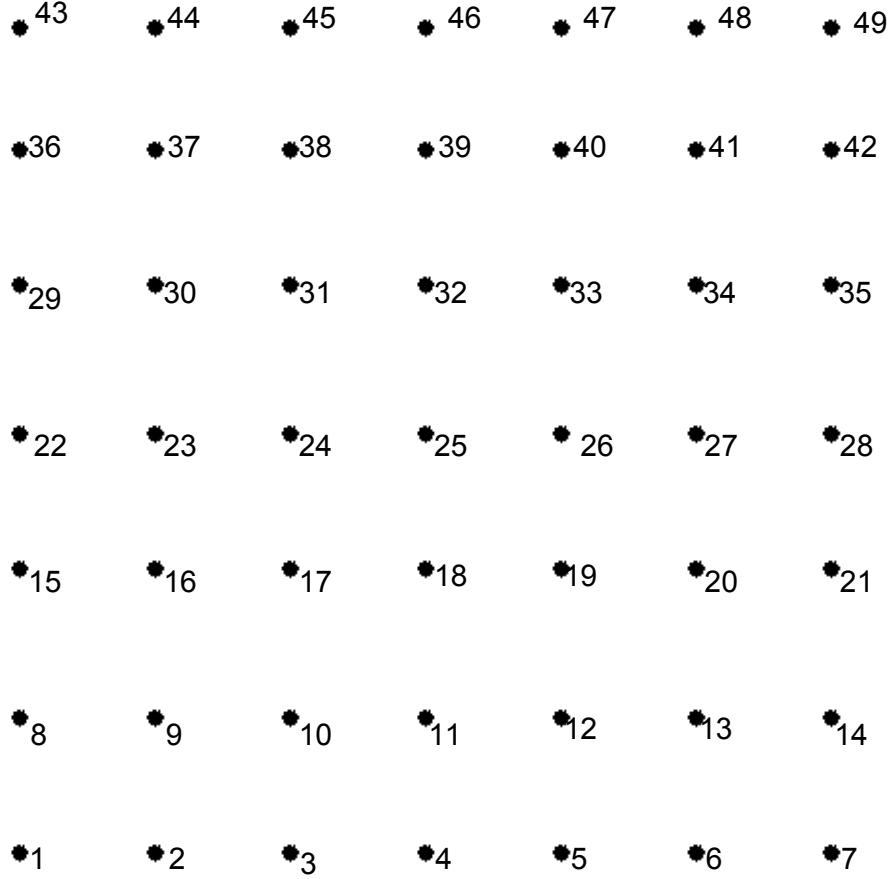
$$\lambda = \frac{Q_i H_i g_i}{1 + \frac{H_i g_i P_i}{N_0 W}}, i \in S \quad (6.5)$$

sağlanacak şekilde güçleri ayarlarız. Burada λ Lagrange çarpanıdır ve güçlerin toplamı P_{toplam} olana kadar ayarlanır. Daha önce bahsettiğimiz gibi burada da ikili arama algoritması uygulanabilir.

Böylece bu algortmada bir kullanıcıyı seçerken seçilmiş diğer kullanıcılara zarar verip vermeyeceği de dikkate alınmaktadır ve [41]'de önerilmiş algortmadan daha iyi başarımlar göstermesi beklenmektedir.

6.2 Benzetim Sonuçları

Benzetimde ilk aşamada 49 adet kullanıcı varsaydık.



Şekil 6.1 Kullanıcıların Dağılımı.

Kullanıcılar şekil 6.1’de belirtildiği gibi eşit uzaklıkta dağıtılmıştır Burada en yakın iki kullanıcı arasındaki uzaklık l parametresi olarak adlandırılmıştır. Şekil 6.1’de belirtilen 1. kullanıcı, 2. kullanıcı ve 8. kullanıcı ile komşudur.

$$x_i = \{(i-1) \bmod 7\} * l \quad (6.6)$$

$$y_i = (i / 7) * l \quad (6.7)$$

Kullanıcılar arasındaki uzaklıklar x ve y koordinatları için denklem (6.6) ve denklem (6.7)’de belirtilmiştir. Bu değerler denklemlerde belirtildiği gibi l ’ye bağlı değerlerdir. l değerini artırıp azaltarak $((\lambda L) / D$ ’yi bir katsayı ile çarparak) kullanıcı yoğunluğunun başarımına etkisini göreceğiz. Daha önce belirtildiği gibi L uydunun yerden yüksekliği, λ dalga boyudur. D ise verici antenin çapıdır.

Çizelge 6.1. Uygulamada Kullanılan Sistem Parametreleri

Parametre	Benzetim Değeri	Birimi
c ışık hızı	3.10^8	Metre/saniye
f frekans	20.10^9	Hertz
λ (dalga boyu)	0.015	Metre
W (bant genişliği)	54.10^6	Hertz
N_0 (gürültü gücü spektral yoğunluğu)	$10^{-20.7}$	Watt/Hz
D (verici anten çapı)	0.6	Metre
d (alıcı anten çapı)	5.3	Metre
L (uydu yüksekliği)	35800000	Metre
N (ışın demeti sayısı)	20	
Kullanıcı sayısı	49	
P_{toplam} (uydudan yere yayılan güç)	40	Watt
Kanal modeli	Yağmur: log-normal (ort. 10 dB, std. sap. 1 dB) Parlama: log-normal (ort. 0 dB, std. Sap. 0.5 dB)	Metre
C (kanal kapasitesi)	Denklem 4.6	Bit/saniye

Uygulamada kullanılan parametreler Çizelge 6.1’de belirtilmiştir. Q_i her bir kullanıcı için 0 ile 1 arasında belirtilen rastgele değerler almıştır. N ise kullanıcı sayısıdır. Bu parametreler için yukarıda önerdiğimiz FDIT algoritmasının başarımını inceleyeceğiz. Karşılaştırma yapacağımız algoritma ise [41]’de önerilen algoritma olacaktır. Bu algoritmayı özetlersek:

[41]'de önerilen algoritma:

1. Mevcut 'uygun' kullanıcılardan her seferinde $Q_i H_i g_i$ parametresini enbüyükleyen kullanıcıyı seç. Burada uygun kullanıcı, daha önce seçilmiş kullanıcılara belli bir mesafeden fazla uzaklıkta olan ($l_i \geq l^*$) olan kullanıcılardır. Bu sayede aktif kullanıcılara zarar vermeyen kullanıcılar seçilmiş olur. l^* eşik değerinin genellikle $0.1 \lambda L/D \leq l^* \leq 0.5 \lambda L/D$ olduğu söylenmektedir [41].
2. Kullanıcıyı ekledikten sonra herkesin H_i parametresini güncelle.
3. Bütün kullanıcılara baktıysan veya bütün ışınları bitirdiysen algoritmayı sonlandır.
4. Yukarıda bahsedildiği gibi burada da seçilen kullanıcılar için güç eniyilemesi yapılır.

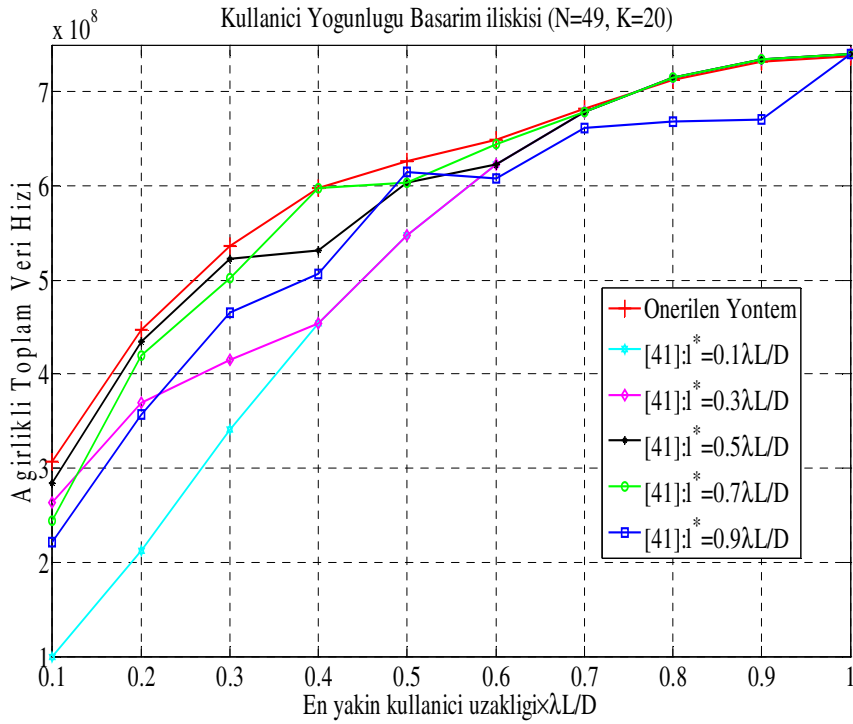
Yukarıdaki algoritma için gerekli olan eşik değeri [41]'de $0.25 \lambda L/D$ olarak önerilmiştir.

$$E_i = \sum_{i=1}^N Q_i W \log_2 \left(1 + \frac{g_i H_i P_i}{W N_0} \right) \quad (6.8)$$

Sistemin başarımı ise denklem (6.8) ile gözlemlenmiştir.

Benzetimlerde l parametresini 0'dan $\lambda L/D$ 'ye kadar artırdık. Her adımda, 1000 adet değişik (rastgele belirlenmiş) kanal kazancı için algoritmayı çalıştırdık ve başarımın ortalamasını aldık. Kendi önerdiğimiz algoritma ile [41]'de önerilen algoritmayı değişik eşik değerleri için çalıştırarak karşılaştırdık. Şekil 6.2'deki grafiklerden görüyoruz ki önerdiğimiz algoritma her l değeri için en iyi sonucu vermektedir. [41]'de önerilen algoritmanın başarımına baktığımızda iki kullanıcı arasındaki uzaklık (l) arttıkça değişik l^* eşik değerlerinin en iyi başarımı elde ettiğini görüyoruz. Mesela $l = 0.1 \frac{\lambda L}{D}$ için $l^* = 0.4 \frac{\lambda L}{D}$ eşiği en iyi başarımı sağlamaktadır. $l = 0.4 \frac{\lambda L}{D}$ için ise $l^* = 0.6 \frac{\lambda L}{D}$ ve $0.7 \frac{\lambda L}{D}$ eşikleri en iyi sonucu

vermektedir. Son olarak $l = 0.9 \frac{\lambda L}{D}$ için $l^* = 0.1 \frac{\lambda L}{D}$ ila $0.8 \frac{\lambda L}{D}$ eşikleri aynı başarıyı vermektedir. Genellikle kullanıcıların arası açıldıkça [41]'de önerilen yöntemin başarıyı bizim önerdiğimiz yönteme yakınsamaktadır. Genel olarak en iyi eşik değeri $l^* = 0.5 \frac{\lambda L}{D}$ olarak görünmektedir. Bu durumda bile bizim önerdiğimiz metod yüzde 12'ye varan başarımlar kazanımları sağlamaktadır.



Şekil 6.2 Önerilen Algoritma ile [41]'deki Algoritmanın Karşılaştırılması.

Önerdiğimiz yöntemin temel avantajı bir eşik değeri parametresine ihtiyaç duymamasıdır. Bir kullanıcıya ışın tahsis edilirken yeni oluşacak durum ve H parametrelerinin yeni alacakları değer dikkate alınmaktadır. [41]'de önerilen algoritmalarda ise kullanıcı yoğunluğu değiştikçe kullanılmalı gereken eşik değeri değişmektedir. Bizim önerdiğimiz yöntem daha karmaşıktır ve daha uzun hesaplama süresi gerektirir. Fakat uydu kanalları yavaş değiştiği için bu hesaplamaların sık yapılmasına gerek yoktur.

7.Sonuçlar ve Yorumlar:

Günümüz uydularının çoklu ışınli antenler kullanması teknolojide talep gören ve gelecekte üzerinde daha çok araştırma yapılacak olan bir alandır. Çünkü günümüzde veri hızı ihtiyacı sınırsızdır ve çoklu ışınli uydular bant genişliği verimliliği, kapasitenin arttırılması, yer terminallerindeki donatıların daha az maliyetli olması gibi birçok avantaj sunmaktadır. Çoklu ışınli uydularda kaynak tahsisini, kullanıcılar arasında adilliği muhafaza ederek başarımları eniyilemesi yapmak ve kullanıcılara güç aktarmak için uygulamaktayız. Tez çalışmamızda uydular ile ilgili bazı ön araştırmalar yapıldıktan sonra çoklu ışınli uydulara değinilmiştir. Çoklu ışınli uydularda literatürde kaynak tahsisi ile ilgili yapılan çalışmalar belirtilerek kullanılan amaç fonksiyonları ve sistem kısıtları incelenmiştir. Çoklu ışınli uydulardan kullanıcı taleplerine karşılık kapasite arasındaki farkı azaltan amaç fonksiyonu oluşturulmuş ve her bir hücrenin güç kısıtlarının toplam güçten küçük olması, her bir hücrenin alabileceği maksimum bir güce sahip olması, ve uydunun sağladığı kapasitenin hücrelerin talebinden küçük olması gibi kısıtlar göz önünde bulundurularak çoklu ışınli uydular ile ilgili en iyi sonuçlar veren Lagrange-çarpanı yöntemi ve en iyiye yakın sonuçlar veren açgözlü algoritmalar geliştirilerek, kıyaslanmıştır. Hücre taleplerinin 200 Mbps, 400 Mbps, 600 Mbps ve 800 Mbps olduğu durumlarda algoritmalar kıyaslandığında, geliştirdiğimiz güç orantısı yöntemi en iyi olan Lagrange yöntemine yakın değerler vermiştir. Veri taleplerinin bu şekilde olduğu durumlarda güç orantısı yönteminden sonra geliştirilen amaç fonksiyonunu en çok azaltan yöntem, kanal kazancı orantısı yöntemi ve kanal ters orantısı yöntemi gelmektedir. Çalışmalarda Ka-bandına sahip GEO uydularından sabit yer istasyonuna veri aktarıldığı düşünölmüştür. Ka bandını etkileyen kanal bozulmalarından bahsedilmiştir. Ka-bandını etkileyen yağmur ve parlama sönümlenmeleri de uygulamalarda kullanılmıştır. Çoklu ışınli uydularda kullanılan çoklu ışınli antenler ve faz dizilimli antenlere değinilmiştir. Çoklu ışınli antenler TWT yükselticisi kullanmaktadır ve her bir hücre için güç kısıtı bulunmaktadır yani her bir hücrenin alabileceği güç sınırlıdır. Çoklu Işınli antenlere sahip uydularda komşu hücrelerin yarattığı girişim belirtilmiştir. Komşu hücreler farklı zaman dilimlerine atanarak girişimin başarımlar üzerindeki etkisi grafikler ile incelenmiştir. Başarımları belirleyen hücreler tarafından sağlanan taleplere, uydu tarafından sağlanan kapasite arasındaki farktır. Bu fark minimum yapılmaya çalışılmıştır. Ortamda

girişim olduğu durumda başarımlar incelendiğinde girişim olmayan durumda geliştirilen algoritmalar sonucu bulunan başarımlara göre daha büyük değerler almıştır. (Şekil 5.10)

Çoklu ışınli uydularda kullanılan diğeri bir anten türü olan faz dizilimli antenler katı hal güç yükselticisi kullanırlar ve sinyalin faz ve genliğı değıştirilerek esnek ışın demetleri sağlarlar. Kullanıcılar için çoklu ışınli antenlerde bulunan bireysel güç kısıtı bulunmamaktadır. Bu tarz uydular yeryüzündeki kullanıcılara ışın demeti sağlarlar ancak kullanıcılar arasındaki mesafe kısa olursa girişim oluşur. Faz dizilimli antenlerde girişim olduğu durumda geliştirilen uygulama ile literatürde belirtilen algoritma karşılaştırılmıştır. Sistem başarımlarının geliştirdiğimiz algoritmada daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü önerilen algoritmanın eşik değeri almaması başarımlarını her durumda diğeri algoritmaya göre verimli ve pratik kılmıştır. (Şekil 6.2)

Çoklu ışınli uydular ile ilgili olarak gelecekte sistemin başarımlarını en iyiye daha yakın algoritmalar geliştirilebilir. Ayrıca faz dizilimli antenler ile ilgili gelen veri taleplerinin sistem kapasitesi için çok fazla olduğu durumlarda sıkışıklık kontrol parametresi ve kuyruk gecikmesi olan diğeri yöntemler geliştirilerek uygulanabilir. Önerilen algoritmaların başarımlarının daha kesin olarak belirlenebilmesi için uydu kanal modellemesinin daha gerçeğe yakın yapılması gerekir. Biz analizlerimizde veri hızı SINR ilişkisini Shannon kapasite formülünü kullanarak kurduk. Daha gerçekçi bir analiz ve değerlendirme için gerçek uydu uygulamalarında kullanılan kipleme, kodlama ve ortama erişim metotlarının analizlerde ve benzetimlerde dikkate alınması gerekir.

Kaynaklar

- [1] Aydın, Ö., Uydu Habeleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Temmuz 2006,
- [2] Choi, J.P., Eylül 2006, Resource Allocation and Scheduling for Communication Satellite, Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology EECS, Amerika.
- [3] Satnews erişim adresi, <http://satnews.com/history.shtml>
- [4] Ippolito, J., L., Satellite Communications Systems Engineering Atmospheric Effects Link Design and System Performance, John Wiley and Sons, The George Washington University, Washington, USA, 2008
- [5] Giambene, G., Resource Management in Satellite Networks, Springer, 2007
- [6] Nakahira, K., Kobayashi K., Ueba, M., Resource Management and QoS Control Scheme in a Multibeam Satellite Communication System , Ocak 2007
- [7] Okello, D.K., Nisan 2004, Resource Management in CDMA based Satellite Networks, Doktora Tezi, McGill Üniversitesi, Kanada.
- [8] Intelsat erişim adresi, <http://www.intelsat.com>
- [9] Eutelsat erişim adresi, <http://www.eutelsat.com>
- [10] Immarsat erişim adresi, <http://www.immarsat.com>
- [11] tübitak uzay erişim adresi, <http://www.uzay.tubitak.gov.tr>
- [12] Tanaka, M., Nakamura, M., Kawai, M., Ohtoma, I., Experimental Fixed and Mobile Multibeam SATellite Communication System, IEEE Somunication Society, CH2655-9/89/0000-1587, 1989
- [13] Hong, Y., Sirinivasan, A., Cheng, B., Hartman, L., Andrealis, P., Optimal Power Allocation for Multiple Beam Satellite Systems, IEEE Radio and Wireless Symposium, Vol 10, Ağustos 2008
- [14] Egami, S., A power Sharing Multiple-Beam Mobile Satellite in Ka Band, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 145-152, Şubat 1999
- [15] Egami, S., Kawai, M., An Adaptive Multiple-Beam System Concept on Antenna, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 630-636, Mayıs 1987
- [16] Tanenbaum, A., S., Computer Networks, Prentice Hall, 2003
- [17] Chiti, F., Fantacci, R., Tarchi, D., Kota, S., Pecorella, T., QoS Provissoning in GEO Satellite with on Board Processing Using Predictor Algorithms, IEEE Wireless Communication Magazine , Ekim 2005
- [18] Alouf, S., Altman, E. ,Galtier, J., Lalande, J.F., Touati, C., Quasi Optimal Resource Allocation in Multi-Spot MFTDMA Satellite Networks, Combinatorial Optimization in Communication Networks, Kluiver Academic Publisher, 2005
- [19] Neely, M.J., Modiano, E., Rohrs, C.E., Power Allocation And Routing In Multibeam Satellites with Time Varying Channels, IEEE ACM Transactions on Networking, Şubat 2003
- [20] Jamalipour A., Ogawa, A., Packet Admission Control in a Direct Sequence Spread Spectrum LEO Satellite Communications Network, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1649-1656, Ekim 1997
- [21] Reudink, D.O., Acampora, A.S., Yeh, Y.S, Transmission Capacity of Multibeam Communication Satellites, Proceedings of the IEEE, Vol 69, 1981
- [22] Lim K, Kim S, Lee HJ. Adaptive radio resource allocation for a mobile packet service in multibeam satellite systems. ETRI Journal 2005; 27(1):43–52.
- [23] Maseng, T., Bakken, M., P., A Stochastic Model of Rain Attenuation, IEEE Transactions on Communications, VOL. COM-29, N0.5, Mayıs 1981

- [24] Matricciani, E., Physical-Mathematical Model of Dynamics of Rain Attenuation with Application to Power Spectrum, IEEE Electronic Letters, Mart 1994
- [25] Filip, M., Vilar, E., Optimum Utilization of the channel capacity of a satellite link in the presence of a amplitude scintillations and rain attenuation, IEEE Transaction Communication vol. 38, pp. 1958-1965, Kasım 1990
- [26] Alouini, M., S., Borgsmiller, S., A., Channel Characterization and Modelling for Ka Band Very Small Aperture Terminals, Proceeding of IEEE, Vol.85, N0.6, Haziran 1997
- [27] Mayer, C., E., Jaeger, B.,E., Crane, R., K., Wang, X., Ka Band Scintillations: Measurements and Model Predictions, Prceedings of the IEEE, Vol 85,1997
- [28] Mouldsley, T., J., Vilar, E., Experimental and Theoretical Statistics of Microwave Amplitude Scintillations on Satellite Downlinks, Antennas and Propogation IEEE Transactions, Vol 30, 1982
- [29] Roddy, D., Satellite Communications, Mc Graw Hill, 2001
- [30] Choi, J.P., Chan, V.W.S., Optimum Power and Beam Allocation Based on Traffic Demands and Channel Conditions over Satellite Downlinks, IEEE Transaction on Wireless Communication, 2983-2993, Kasım 2005
- [31] Yılmaz, M., 2006, Particle Swarm Systems for Multimodal Optimization, Yüksek Lisans Tezi, Yeditepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [32] Nakahira, K., Kobayashi K., Ueba M., Capacity and Quality Enhancement using Adaptive Resource allocation for Multi-beam Mobile Communication Systems, IEEE Somunication Society,1-4244-0270-0,2006
- [33] Nakahira, K., Kobayashi K., Ueba, M., A Resource Allocation Scheme for QoS Provision in Multi-beam Mobile Communication System, Wireless Communications and Networking Conference, IEEE, 1525-3511, 2007
- [34] Caini, C., Corozza G.E., Satellite Diversity in Mobile Satellite CDMA Systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol19, No7, Temmuz 2001
- [35] Corazza, G.E., Digital Satellite Communications, Springer, 2007
- [36] Morell, A., Granados, G.S., Castro., M.A.V, Joint Time Slot Optimization and Fair Bandwith Allocation for DVB-RCS Systems, IEEE Communication Society, 1-4244-0357-X, 2006
- [37] Segura, X.J., Analysis and Simulation of a Multibeam Satellite with Cross Layer Techniques, Katalunya Politeknik Üniversitesi
- [38] Salmasi, A.B., Sami, Y.R., Beam Area Determination for Multiple Beam Satellite Communication Applications, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Mayıs 1983
- [39] Hwang, Y.,Satellite Antennas, Proceedings of the IEEE, vol.80, 1992
- [40] Vural, E., Kablosuz iletişiminde akıllı anten sistemleri ve ışın şekillendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2004
- [41] Choi, J.P., Chan, V.W.S., Resource Management for Advanced Transmission Antenna Satellites, IEEE Transactions on Wireless Communications, Mart 2009
- [42] Lumholt,M., Living Antennas on Communication Satellites, IEEE Potentials, vol.22, 2003
- [43] Maral,G., Bouquet M., Satellite Communications Sytems – Systems, Techniques and Technology, Wiley 4th Ed., Eylül 2008
- [44] Choi, J.P., Chan, V.W.S., Prediction and adaptation of satellite channels with weather-induced impairments, Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings., vol.3, no., pp.3/1209-3/1219 vol.3, 2001

- [45] Gremont, B.C., Filip, M., Spatio-temporal rain attenuation model for application to fade mitigation techniques, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol.52, no.5, pp. 1245- 1256, Mayıs 2004
- [46] Shaft, P., Roberts, J., Optimum Allocation of Multibeam Communications Satellite Resources, *Communications, IEEE Transactions on*, vol.24, no.10, pp. 1195- 1200, Ekim 1976
- [47] Castro, M.A.V., Granados, G.S., Cross-layer packet scheduler design of a multibeam broadband satellite system with adaptive coding and modulation, *Wireless Communications, IEEE Transactions on* , vol.6, no.1, pp.248-258, Ocak 2007

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DENİZ, Sami
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05/03/1983 Bodrum-Muğla
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 2212518
e-mail : sdeniz@etu.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Çankaya Üniversitesi/Elektronik Haberleşme Müh.	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	A Telekom San. Tic. Ltd. Şti.	Proje Mühendisi
2007-2009	Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2006-2006	Bodrum Coca Cola Bayii	Pazarlama Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce(çok iyi)
Almanca(temel)