GENİŞ BAND VSAT UYDU SİSTEMLERİ VE UYDU BANT GENİŞLİĞİNİN VERİMLİ KULLANILMASI

Ahmet Fazıl YARAŞLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKİM 2009
ANKARA

Ahmet Fazıl YARAŞLI tarafından hazırlanan GENİŞ BAND VSAT UYDU SİSTEMLERİ VE UYDU BANT GENİŞLİĞİNİN VERİMLİ KULLANILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr Nursel AKÇAM ……
Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr Erkan AFACAN ……
Elektrik Elektronik Mühendisliği A. D., G. Ü.

Yrd. Doç. Dr Nursel AKÇAM ……
Elektrik Elektronik Mühendisliği A. D., G. Ü.

Yrd. Doç. Dr Elif URAY AYDIN ……
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Tarih: 07.10.2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ahmet Fazıl YARAŞLI

GENİŞ BAND VSAT UYDU SİSTEMLERİ VE UYDU BANT GENİŞLİĞİNİN VERİMLİ KULLANILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet Fazıl YARAŞLI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2009

ÖZET

Günümüzde bilişim ağlarının ve teknolojilerinin sağlamış oldukları kolaylıklar ve yaygınlaşması sonucu iletişim teknolojileri sosyal ve ekonomik hayatımızda çok büyük bir önem arz etmektedir. Söz konusu bu teknolojiler ile sağlanan hizmetlerde kesintiye tahammül olmamaktadır. Bunun yanı sıra sürekli olarak gelişen uygulama alanları ve artan kullanıcı sayısı ile sürekli olarak bant genişliği talebi de artmaktadır.

Bu çalışmada, bant genişliği maliyetlerinin diğer teknolojilere oranla daha maliyetli olduğu, uydu haberleşmesinde bant genişliğine etki eden faktörler incelenmiş ve hücresel kablosuz iletişim teknolojilerinde kullanılan değişken modülasyon ve kodlamalı sistemlerin bant genişliği kazancı hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 905.1.053
Anahtar Kelimeler : Uydu haberleşmesi, VSAT, bant genişliği verimi
Sayfa Adedi : 94
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

BROADBAND VSAT SATELLITE SYSTEMS AND USING EFFICIENT OF SATELLITE BANDWIDTH

(M.Sc. Thesis)

Ahmet Fazıl YARAŞLI

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October 2009

ABSTRACT

Today, Information networks and its technologies have provided a great convenience and they become widespread, as a result of this they became more important in our social and economical life. So there are no more patient to network outages on the services that use these Technologies and with the developing applications and the users, bandwidth need is in increase.

In this work the parameters that effects on satellite bandwidth whose capacity costs relatively high was discussed. And the bandwidth gain of VSAT systems with Adaptive Coding and modulation that are used in cellular networks are calculated.

Science Code : **905.1.053**
Key Words : **Satellite communication, VSAT, Bandwidth efficiency**
Page Number : **94**
Adviser : **Assist. Prof. Dr. Nursel AKÇAM**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. UYDU HABERLEŞMESİ 3

2.2. Uydu Tarihçesi 3

2.3. Yörüngeler 5

2.3.1. Düşük dünya yörüngesi (low earth orbit) 7

2.3.2. Orta dünya yörüngesi (medium earth orbit) 8

2.3.3. Jeosenkron yörünge (geostationary orbit) 8

2.4. Frekans Bantları 9

2.5. Uydu Uygulamaları 11

2.6. Uydu Yer İstasyonları 11

3. MODÜLASYON TEKNİKLERİ 13

3.2. Dijital Modülasyon Teknikleri 14

3.2.1. Genlik kaydırmalı modülasyon tekniği (ASK) 15

3.2.2. Frekans kaydırmalı modülasyon tekniği (FSK) 15

Sayfa

3.2.3. Faz kaydırmalı modülasyon tekniği (PSK) 17
3.2.4. Genlik ve faz kaydırmalı modülasyon (APSK) 26
3.2.5. QAM (Quadrature Amlitude Modulation) 28
4. ÇOKLU KANAL ERİŞİM METOTLARI 29
4.2. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (TDMA) 29
4.3. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (FDMA) 33
4.4. Kod Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (CDMA) 34
5. HATA TESPİT VE DÜZELTME TEKNİKLERİ 37
5.2. Hata Düzeltme Kodları 37
5.3. Hamming Kodu 38
5.3.1. Reed Solomon kodu 40
5.3.2. BCH kodu (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Code) 44
5.3.3. LDPC kodu (Low Density Parity Check) 45
5.3.4. TPC (Turbo Product Code) 47
5.3.5. Viterbi katlamalı kodu (Convolutional Codes (Viterbi)) 49
5.4. Hata Tespit Kodları 51
5.4.1. Eşlik (Parity) 51
5.4.2. Blok toplamı denetimi (Block Sum Check) 52
5.4.3. Dönüşsel artıklık denetimi (Cyclic Redundancy Check) 52
6. VSAT (VERY SMALL APERTURE TERMINAL) 55
6.2. Sistem Mimarisi 55
6.3. VSAT İstasyon Donanımları 56

Sayfa

6.4. VSAT Hub İstasyonu.....58

6.4.1. Temel hub istasyon işlevleri.....58

6.5. VSAT Sistemi Haberleşme Topolojileri.....60

6.5.1. Yıldız topoloji ve çalışma prensibi.....61

6.5.2. Ağ topoloji ve çalışma prensibi.....61

6.5.3. SCPC topoloji.....63

6.6. Sistem Standartları.....63

6.6.1. DVB (Digital Video Broadcast).....63

6.6.2. DVB-S (Digital Video Broadcast - Satellite).....64

6.6.3. DVB-S2 DVB-S (Digital Video Broadcast – Satellite 2).....68

6.6.4. DVB-RCS (Digital Video Broadcast – Return Channel Satellite).....70

7. VSAT SİSTEMLERİNDE BANT GENİŞİLĞİ İYİLEŞTİRMELERİ.....74

7.2. Uyarlamalı Modülasyon Kodlamalı Sistemlerdeki ve DVB Formatlı Sistemlerdeki Bant Genişliği Verimi.....74

7.3. Uyarlamalı Modülasyon Kodlamalı Sistemlerin Farklı Yağış Rejimlerindeki Verimliliği.....87

8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....90

KAYNAKLAR.....92

ÖZGEÇMİŞ.....94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Uydu yörüngeleri 5

Şekil 2.2. Sinyal gecikmesi 7

Şekil 2.3. Jeosenkron yörünge 9

Şekil 2.4. Atmosferik gürültü 10

Şekil 3.1. FSK modülasyonlu sinyal 17

Şekil 3.2. BPSK modülasyonlu işaret 18

Şekil 3.3. MPSK fazör diyagramı 19

Şekil 3.4. QPSK modülasyonlu sinyal bileşenleri 21

Şekil 3.5. QPSK modülatör ve demodülatör blok diyagramı 22

Şekil 3.6. QPSK ile OQPSK arasındaki sinyal farkı 23

Şekil 3.7. OQPSK-QPSK fazör diyagramı 23

Şekil 3.8. Eb/No BER grafiği 24

Şekil 3.9. 16PSK ve 16QAM karşılaştırması 26

Şekil 3.10. 16APSK fazör diyagramı 27

Şekil 3.11. 32APSK fazör diyagramı 27

Şekil 3.12. 16QAM fazör diyagramı 28

Şekil 4.1. Aloha ve dilimli Alohanın net hız grafiği [15] 30

Şekil 4.2. TDMA erişim tekniği 31

Şekil 4.3. TDMA VSAT topolojisi 31

Şekil 4.4. TDMA çatısı 32

Şekil 4.5. FDMA erişim tekniği 34

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.6. CDMA çoğullama sistemi 35

Şekil 5.1. Blok kodlayıcı 38

Şekil 5.2. Reed Solomon veri hattı 40

Şekil 5.3. Reed Solomon çatısı 41

Şekil 5.4. RS kodlayıcı mimarisi 42

Şekil 5.5. RS kod çözücü mimarisi 43

Şekil 5.6. BCH kodu BER Eb/No karakteristiği 44

Şekil 5.7. LDPC grafik gösterimi 45

Şekil 5.8. TPC BER, Eb/No performansı 48

Şekil 5.9. 1/2 Katlamalı kodlayıcı 49

Şekil 5.10. Katlamalı kod için grafiksel gösterimidir 50

Şekil 5.11. CRC kodlaması 53

Şekil 6.1. VSAT haberleşme topolojisi 55

Şekil 6.2. VSAT terminal bileşenleri [18] 57

Şekil 6.3. İleri yönlü taşıyıcı 59

Şekil 6.4. Geri yönlü taşıyıcı 60

Şekil 6.5. Yıldız topoloji gösterimi [18] 61

Şekil 6.6. Ağ topoloji gösterimi [18] 62

Şekil 6.7. HUB kullanan ağ topoloji gösterimi 63

Şekil 6.8. MPEG çatısı 64

Şekil 6.9. DVB-S yayın süreci 67

Şekil 6.10. RS ile kodlanmış MPEG iletim kataı 67

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.11. DVB-S2 iletim katarı süreçleri 68

Şekil 6.12. ACM 69

Şekil 6.13. DVB-S2'nin Shannon Limitine olan yakınlığı 70

Şekil 6.14. DVB-RCS süreci 70

Şekil 6.15. ATM trafik formatı 71

Şekil 6.16. Trafik patlaması çatısı 72

Şekil 7.1. VSAT şebekesi 74

Şekil 7.2. Birinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 77

Şekil 7.3. İkinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 78

Şekil 7.4. Üçüncü kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 79

Şekil 7.5. Dördüncü kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 79

Şekil 7.6. Beşinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 80

Şekil 7.7. Altıncı kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 81

Şekil 7.8. Yedinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 81

Şekil 7.9. Sekizinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 82

Şekil 7.10. Dokuzuncu kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 83

Şekil 7.11. Onuncu kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği 84

Şekil 7.12. Farklı kapsama alanlarındaki bant genişliği kullanımı 85

Şekil 7.13. Farklı kapsama alanlarındaki bant genişliği verimi 86

Şekil 7.14. DVB-S2, Eb/No verim grafiği 86

Şekil 7.15. Isna Şehri ACM/CCM ve DVB-S/DVB-S2 verimi 88

Şekil 7.16. Delhi Şehri ACM/CCM ve DVB-S/DVB-S2 verimi 88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. 8PSK modülasyon 25

Çizelge 4.1. Verinin CDMA ile kodlanması [17].....36

Çizelge 4.2. CDMA sinyalinin çözülmesi [17] 36

Çizelge 5.1. Kodlanmış Hamming verisi 38

Çizelge 5.2. Düğümler arası geçiş 46

Çizelge 5.3. Düğümler arası geçiş 46

Çizelge 5.4. TPC kod kelimesi 47

Çizelge 5.5. TPC eşlik hata tespit yöntemi 52

Çizelge 6.1. İletim katarı paket bileşenleri ve açıklamaları 65

Çizelge 6.2. Adaptasyon bölgesi paket formatı.....66

Çizelge 6.3. Farklı FEC oranları için DVB-S, Eb/No performansı [20].....68

Çizelge 7.1. Merkez istasyon özellikleri 75

Çizelge 7.2. VSAT istasyon özellikleri.....75

Çizelge 7.3. Uydu parametreleri.....76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
ACK	Onaylama (Acknowledgement)
ACM	Değişken kod ve modülasyon (Adaptive Coding and Modulation)
ASK	Genlik kaydırmalı modülasyon (Amplitude Shift Keying)
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Kodlaması
BER	Bit hata oranı (Bit Error Rate)
BUC	Blok frekans yükseltici (Block Up Converter)
BW	Band genişliği
CCM	Sabit Kod ve Modülasyon (Constant Code Modulation)
CDMA	Kod paylaşımlı çoklu erişim (Code Division Multiple Access)
C/N	Sinyal gürültü oranı
CRC	Dönüşsel artıklık denetimi (Cyclic Redundancy Check)
DA-TDMA	Talep erişimli zaman paylaşımlı çoklu erişim tekniği (Demand Access - Time Division Multiple Access)
DAMA	Talep atamalı çoklu erişim (Demand Assigned Multiple Access)
DVB-RCS	Geri yönlü taşıyıcıda DVB standartı (Digital Video Broadcasting - Return Channel Satellite)
DVB-S2	İleri yönlü taşıyıcıda DVB standardı ikinci sürüm (Digital Video Broadcasting Satellite 2)

Kısaltmalar	Açıklama
EIRP	Çıkış gücü (Effective Isotropic Radiated Power)
FDMA	Frekans paylaşımlı çoklu erişim tekniği (Frequency Division Multiple Access)
FEC	İleri hata doğrulama (Forward Error Correction)
FM	Frekans modülasyonu (Frequency Modulation)
FSK	Frekans kaydırmalı modülasyon (Frequency Shift Keying)
G/T	Kazanç gürültü sıcaklığı oranı (Figure of Merit)
HPA	Güç kuvvedlendirici (High Power Amplifier)
HUB	Merkez Nokta
IDU	İç donanım (In Door Unit)
IF	Orta frekans bandı (Intermediate Frequency)
IP	İnternet protokolü (Internet Protocol)
ITU	International Telecommunication Union
LDPC	Low-Density Parity-Check Code
LNB	Düşük gürültü frekans düşürücü (Low Noise Block Downconverter)
MAC	Ortam erişim kontrolü (Media Access Control)
MF-TDMA	Çoklu frekans zaman paylaşımlı erişim tekniği (Multi Frequency Time Division Multiple Access)
MPEG	Görüntü sıkıştırma formatı (Moving Picture Experts Group)
ODU	Dış birim (Out Door Unit)
PAMA	Sabit atamalı çoklu erişim (Permanent Assignment Multiple Access)

Kısaltmalar	Açıklama
PSK	Faz kaydırmalı modülasyon (Phase Shift Keying)
QoS	Hizmet kalitesi (Quality of Service)
RF	Raydo frekansı (Radio Frequency)
SCPC	Kanal başına tek taşıyıcı (Single Carrier Per Channel)
TCP/IP	İletim kontrol protokolü / internet protokolü (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
TDM	Zaman paylaşımlı çoğullama Time Division Multiplexing
TDMA	Zaman paylaşımlı çoklu erişim Time Division Multiple Access
TPC	Turbo Product Coding
TWTA	Tüplü kuvvetlendirici (Travelling Wave Tube Amplifier)
VoIP	IP üzerinden ses iletimi (Voice Over IP)
VSAT	Küçük açıklıkı terminal (Very Small Aperture Terminal)
WAN	Geniş alan ağı (Wide Area Network)

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun en temel ihtiyaçlarından biri olan iletişim, özellikle son yüzyılda elde edilen gelişmelerle insanoğlunun talepleriyle şekillenmiştir. Kablolu veya kablosuz olarak çok geniş bir yelpazede sunulan telekomünikasyon hizmetleri sayesinde insanların birbirleriyle kolaylıkla haberleşmesi sağlandığı gibi geliştirilen farklı uygulamalar ile haberleşme altyapıları sağlamış olduğu kolaylıklar ile ticari ve sosyal hayatın üzerine kurulduğu sibernetik platformlar haline gelmektedir. Bütün bu gelişmeler sonucunda sürekli olarak ihtiyaç duyulan bant genişlikleri artmaktadır. Bu kapsamda fiber kablo maliyetlerinin nispeten düşmesi ile dünyanın önde gelen ülkelerinde eve kadar fiber (Fiber To Home) altyapıların hazırlanmaya başlanmasına rağmen fiber altyapısı günümüzde hala daha oldukça yüksek ilk kurulum maliyetine sahiptir. Kullanıcı yoğunluğunun düşük olduğu kırsal alanlarda ise fiber veya kablo üzerinden servislerin sunulması da oldukça maliyetli olup bu tür yerlere daha ziyade kablosuz erişim teknolojileri ile hizmet vermek daha cazip hale gelmektedir. Bu pazarın farkında olan bir takım uydu operatörleri ve donanım üreticileri maliyetleri düşük bir takım servisler sunmaya başlamış bulunmaktadır. Fakat söz konusu hizmetlerin farklı karasal ve kablosuz erişim teknolojileri ile rekabet edebilmesi için donanım maliyetlerinin yanı sıra oldukça maliyetli olan bant genişliğinin de düşürülmesi gerekmektedir. Günümüzde ortalama bir uydunun yaklaşık olarak 1GHz'lik bir toplam bant genişliği olduğu da göz önünde bulundurulduğunda bant genişliğinin verimli kullanılmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Bant genişliği veriminin sağlanması, her zaman için uydu teknolojilerindeki anahtar nokta olarak görülmüş ve farklı yöntemler izlenerek verim yükseltilmeye başlanmıştır. Bir kısım araştırmacılar internetin yaygınlaşması ve temel haberleşme altyapısı haline gelmesi ile paylaşım (oversubscription) kavramının uydu sistemlerinde kullanımını üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalarda talep üzerine bant genişliği tahsisinin yapıldığı farklı algoritmalar hazırlanmış ve bant genişliği veriminin arttırılması hedeflenmiştir [1]. Benzer biçimde VSAT haberleşmesinde terminallerin ortak kullanmakta olduğu bant genişliklerine erişiminin kontrollü

olarak yapıldığı çoklu erişim teknikleri üzerinde durulmuştur [2]. Özellikle IP temelli haberleşme altyapılarında trafiğin yönetimi ve dinamik yönlendirme algoritmalarının ortaya çıkmasıyla birlikte uydu sistemleri üzerinde çalışan yönlendirme protokollerinin sadeleştirilmesi ve ilave bilgilerin çıkarılması ile de bant genişliği tasarrufu sağlanmaktadır [3]. Uydu haberleşmesinde kullanılan farklı uygulamalar doğrultusunda farklı çözüm önerileri oluşturan araştırmacılar da mevcut. Video konferans ve video amaçlı kullanılan şebekelerde trafiğin her bir terminale ayrı ayrı değil de hepsine aynı trafiği iletmenin mümkün olacağı farklı yönlendirme protokolleri ile üzerinde çalışılmaktadır [4]. Web tabanlı uygulamaların çalıştığı uydu devrelerinde ise TCP ve http protokolleri üzerinde hızlandırma işlevi gören bir takım uygulama hızlandırıcı yazılım/donanımlar üzerinde yoğunlaşılmıştır. Bu uygulama hızlandırıcıları ile http ve TCP trafiğinin uydu gecikmesine olan dezavantajının ortadan kaldırılması ve pratikte yüksek veri hızlarına çıkılması amaçlanmaktadır. TCP ve http protokollerinin her bir paket ve obje için onay alma (acknowledgement) mekanizmasını sanal onaylar göndererek uygulamanın hızlandırılması mümkün olmaktadır [5].

Bu tez kapsamında uydu haberleşmesinin temelleri ve uydu haberleşmesinde bant genişliğini etkileyen hususlar incelenmiştir. İkinci bölümde uydu haberleşmesinin temelleri ve tarihçesinden bahsedilmiş, üçüncü bölümde ise uydu haberleşmesinde kullanılan farklı modülasyon teknikleri incelenmiş ve verimlilikleri tartışılmıştır. Dördüncü bölümde, kullanılmakta olan farklı kanal erişim metotlarına değinilmiştir. Bant genişliği veriminde çok etkili rolü olan hata kodlama tekniklerinin temelleri ise beşinci bölümde incelenmiş ve altıncı bölümde, uydu haberleşme standartları anlatılmıştır. Ayrıca günümüzde GSM ve Wi-Max gibi son kullanıcıya direkt olarak hizmet veren teknolojilerde kullanılan dinamik modülasyon-kodlama tekniğinin VSAT sistemlerine olan uyarlaması ile uydu üzerindeki bant genişliği verimi hesaplanmış ve yeni standartlar ile gelen hata kodlama tekniklerinin bant genişliğine olan etkisi araştırılmıştır.

2. UYDU HABERLEŞMESİ

Arthur C. Clark'in 1945 de "Wireless World " dergisinde yayınlamış olduğu makale ile uydu ve uydu haberleşmesi bir bilim kurgu efsanesinden gerçeğe dönüşmeye başlamıştı. Yazar makalesinde dünya merkezinden 42 000 km uzaklıkta ekvator düzlemi üzerindeki yörüngesine yerleştirilecek üç uydu ile küresel bir haberleşme sisteminin kurulmasından bahsediyordu. Makalenin yayınlanmasından ancak 12 yıl sonra uzaya ilk uydu Sosyalist Sovyet Rusya tarafından Sputnik 1 ismiyle yörüngeye oturtulmuş ve teknolojide ileri gelen devletlerin uzay yarışı başlamıştır. Günümüzde ise uydular çeşitli yörüngelerde haberleşme, koordinat belirleme (Navigasyon), gözlem ve bilimsel araştırmalar gibi birçok amaç ile insanlığa hizmet etmektedirler.
Haberleşme uyduları yer üzerindeki istasyonlar arasında verimli bir sinyal nakledicisi olarak görev yaparlar. Uydu sistemleri birçok pazarda karasal TV yayınlarına, kablo TV hizmetlerine ve DSL altyapısına alternatif sağlamasının yanı sıra mobil ses, veri ve dijital görüntü aktarımında da kullanılırlar.

Uydu haberleşmesi başlangıçta ses haberleşmesi için tercih edilmesine rağmen 1980'li yıllarda video yayınları ve ardından veri haberleşmesi uydu platformunu kullanan başlıca haberleşme biçimleri olarak karşımıza çıkar. Buna rağmen günümüzde uydular kırsal, mobil ve uluslar arası ses iletimi noktasında kullanılırlar. Okyanuslar arası fiber hatlarının ve büyük şehirlerin fiber ağlarının yaygınlaşması ile uydu haberleşmesi bu pazarlarda bütünleyici bir rol üstlenmiş ve özellikle hat yedeklemesi konusunda alternatif bir ortam oluşturmuştur. Denizlerde ise uydu platformu alternatifsiz bir haberleşme ortamı sunmakta olup geniş bantlı veri iletimi ve acil durum haberleşmesi mümkün olmaktadır.

2.2. Uydu Tarihçesi

1929 : Hermann Noording, The Problem of Space Flight (uzay uçuşu problemi) kitabında dünyaya göre sabit yörünge kavramını tanımladı.

1945 : Arthur C. Clark “Wireless World ” dergisinde uydu fikrini ilk olarak ortaya attı.

1957 : Sovyetler Birliği tarafından Sputnik 1 yapay uydusu gönderildi.

1957 : ABD’nin SCORE uydu projesi başlatıldı.

1960 : ABD tarafından Echo-I uydusu 1600km uzaklığa fırlatıldı. İlgili uydu üzerinden 1–2.5GHz frekanslarında telefon ve TV iletimi sağlandı.

1962 : ABD’de yerleşik ilk uydu şirketi Comsat haberleşme hizmeti amacıyla kuruldu.

1964 : INTELSAT (Uluslararası uydu haberleşmesi) organizasyonu kuruldu.

1968 : PTT Genel Müdürlüğü bünyesinde Peyk Telekomünikasyon Grup Başmühendisliği kuruldu.

1968 : Intelsat Organizasyonuna Türkiye üye oldu. Aynı yıl uydu üzerinden ilk telefon kanalları Yugoslavya ve İran yer istasyonlarından yararlanarak birlikte kuruldu.

1974 : Western Union ilk sabit Amerikan uydusu Westar 1'i attı.

1975 : HBO Satcom1 üzerindeki ilk uydu yayın sistemine başladı.

1977 : EUTELSAT Organizasyonu kuruldu.

1979 : İlk uydu yer istasyonumuz AKA-1 (Ankara-1) İngiltere'yle 11 telefon kanalı kurularak servise verildi. AKA-1’in hizmete verilmesiyle Intelsat üzerinden Atlantik bölgesi uyduları kullanılarak 13 ülke ile haberleşme sağlandı.

1980 : Satellite Television Corp. ilk defa BSS bandında bir DBS sistemi kurmak ve işletmek için FCC ye başvurur.

1986 : HBO film yayınlarını tamgün şifreleyen ilk kanal olur.

1991 : Prime Star sınırlı sayıda analog yayın sunan ilk orta güçlü Ku bandı yayınına başladı.

1994 : Türksat 1B uzaya fırlatıldı ve 42° Doğu yörüngesine başarıyla yerleştirildi.

1996 : Türkiye'nin ikinci uydusu Türksat 1C uzaya fırlatıldı ve 31,3° Doğu yörüngesine yerleştirildi.

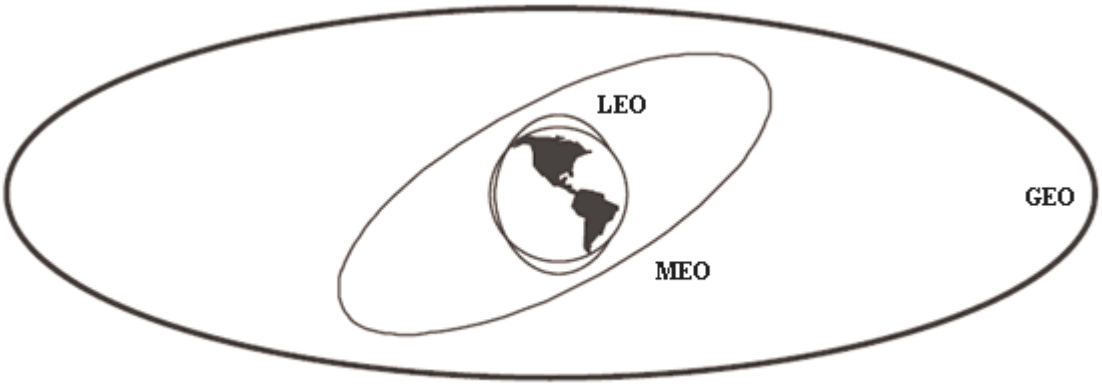
2001 : Türk Telekom ve Alcatel ortaklığı ile kurulan Eurasiasat şirketi tarafından yaptırılan Türksat 2A (Eurasiasat 1) uydusu Güney Amerika'daki Kourou Üssü'nden Ariane 4 roketiyle uzaya fırlatıldı.

2.3. Yörüngeler

Uydular sahip oldukları kapsama alanlarında bulunan yer istasyonları için bir tekrarlayıcı vazifesi üstlenirler. Bu kapsama alanları ise uydu üzerindeki anten sistemine ve uydunun bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak değişir. Bir jeosenkron yörünge (GEO) uydusu kutupsal bölgeler hariç olmak üzere dünya yüzeyinin %33 ünü kapsayabilmekte ve böylece belli başlı yörüngeler için dünya nüfusunun %99 unu kapsayabilme imkânı sunar.

Şekil 2.1'de gösterilen düşük yörünge (LEO) ve orta yörünge (MEO) uydularında ise bu tür bir kapsama alanı oluşturmak için birden fazla uydu kullanılma zorunluluğu ortaya çıkar. Bunun yanı sıra bu yörüngedeki uyduların açısal hızlarının dünya açısal hızından fazla olması sebebiyle kesintisiz bir kapsama alanı oluşturmak için uydu sayısında ilave bir artış kaçınılmaz olur.

Jeosenkron yörünge uyduları kapsama alanı olarak avantajlı olsa da yüksek irtifadan dolayı sinyallerde yüksek gecikmelere sebebiyet vermekte ve yaklaşık 36 000 km'lik bir yayılım zayıflaması olmaktadır.



Şekil 2.1. Uydu yörüngeleri

Yörüngedeki bir cisme etki eden esas kuvvet dünyanın çekim alanıdır. Bu çekim alanı cismi, uyduyu direk olarak dünyanın merkezine doğru çeker. Fakat cismin

sahip olduğu dönme (açısal) hızı sonucu oluşan merkezkaç kuvvetinin dünyanın çekim alanına eşitlenmesi ile cisim yörüngede hareketine devam eder.
Newton'un iki cisim arasındaki çekim kuvvetini açıklayan formülü ile merkezkaç kuvvetinin ifadesini aşağıdaki gibi jeosenkron yörüngenin yeryüzünden yüksekliğini bulabiliriz.

$$F = \frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2} \tag{2.1}$$

Burada;

M: Dünyanın Kütlesi = 6 x1024 kg

T: Periyodu ifade etmekte olup jeosekron uydu için bu değer 1 gün olarak seçilecektir

1 gün= 8,64 x 104 sn

G: Newton'un yer çekimi sabiti = 6,67 x 10–11 m3/kg.s2

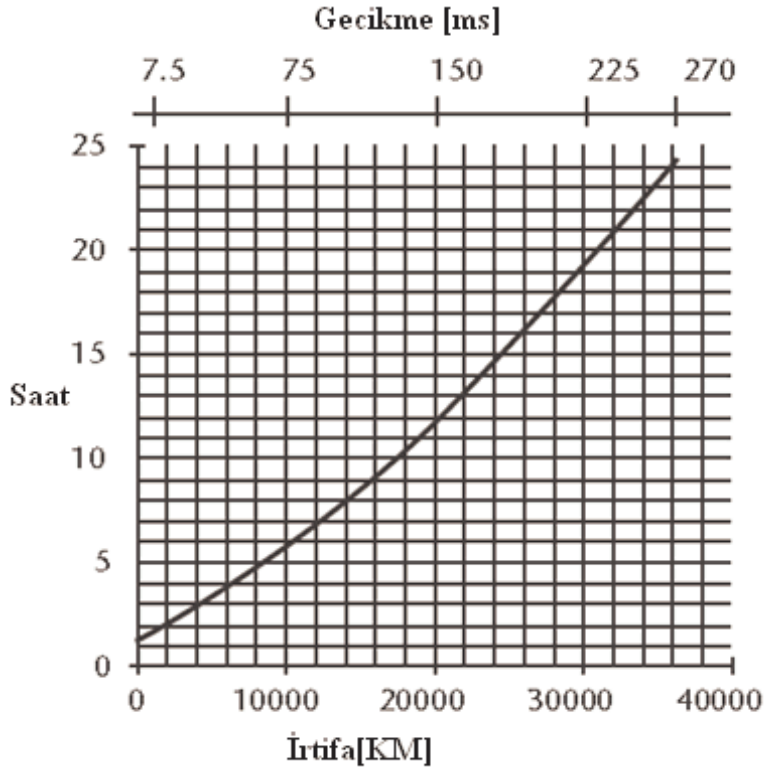
V: Açısal Hız = (2πr)/T

m: Cismin (uydunun) kütlesi

r: Cismin veya yörüngenin dünya merkezine olan uzaklığı

$$F = \frac{mv^2}{r} \tag{2.2}$$

Eş. 2.1'de verilen Newton'un yer çekimi yasası ile Eş. 2.2'de verilen merkezkaç kuvveti eşitliklerinin eşitlenmesi ile GEO yörüngenin dünya merkezine olan uzaklığı r = 42 300 km olarak bulunur. Bu ifadeden dünyanın çapını çıkarılırsa jeosenkron yörüngenin yeryüzüne olan uzaklığı R=r– dünyanın çapı = 36 000 km olarak bulunur.Bu uzaklık, sinyalin ışık hızı ile yayılması göz önünde bulundurulduğunda Şekil 2.2'den de görüleceği üzere yaklaşık olarak 240 ms'lik bir gecikmeye sebep olur [7].



Şekil 2.2. Sinyal gecikmesi

2.3.1. Düşük dünya yörüngesi (low earth orbit)

2 000 km den daha az irtifada bulunan yörüngeler LEO (low earth orbit) düşük dünya yörüngesi olarak andırılır. LEO yörüngede Orbcomm, Iridium ve Globalstar sistemleri önde gelen hizmet sağlayıcılardır.

775 km irtifadaki 29 LEO uydusu ile Orbcomm, birkaç kilobayta kadar hızlarda iki yönlü mesajlaşma ve M2M olarak tabir edilen makine ile makineler arası haberleşme hizmetleri sağlarlar. Her bir uydu 137,0–150,05 MHz ve 400,075–400,125 MHz bantlarında iletişim sağlayabilecek VHF-UHF uydu yüküne (payload) sahiptirler [8]. Iridium ise 780 km irtifada bulunan 6 farklı kutupsal yörünge düzlemi üzerine yerleştirmiş olduğu 66 LEO uydusu ile 1,6 GHz frekans bandında dar bantlı veri ve mobil ses hizmetleri sağlar. Iridium uyduları aynı zamanda uydular arası hatlar ile birbirleri arasında trafik aktarımı yapabilme kabiliyetine sahiptirler [9].

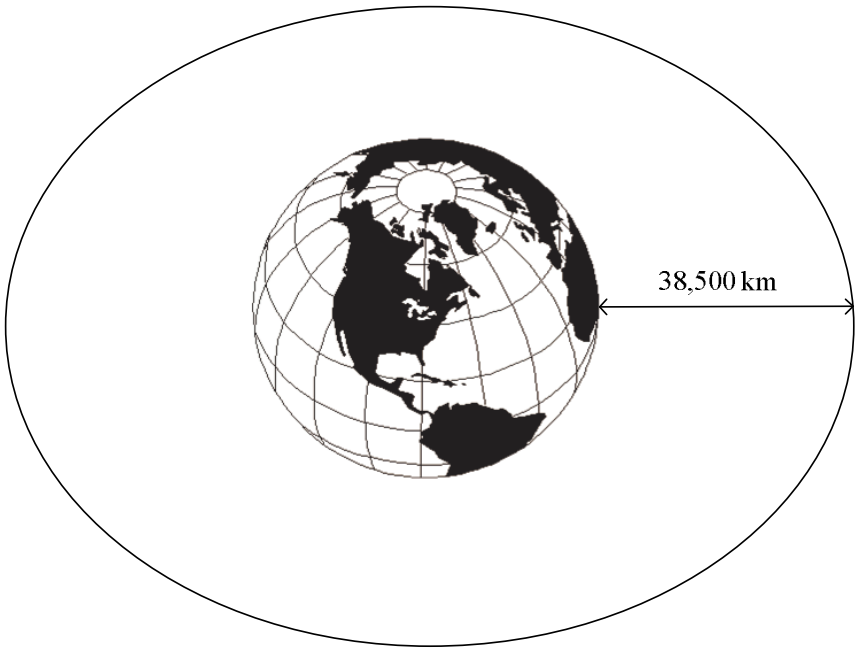
Globalstar sistemi 1 414km irtifada birbiri arasında 52 derecelik açı farkı bulunan 8 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş 54 adet uydudan oluşur. Son kullanıcıya sunmuş olduğu ses ve dar bantlı veri iletimi hizmetlerinde 1610 – 1626,5 MHz (kullanıcıdan uyduya) ve 2483,5 – 2500 MHz (uydudan kullanıcıya) frekans bantlarını kullanır [10].

2.3.2. Orta dünya yörüngesi (medium earth orbit)

MEO (medium earth orbit) yörüngedeki uydular 2 000- 35 000 km irtifada bulunurlar. İlk haberleşme uydusu olan Telstar telefon haberleşmesi için tasarlanmış bir MEO uydusu idi. MEO uyduları dünya etrafındaki turunu bulundukları irtifaya göre 2 ila 12 saat arasında tamamlarlar. Günümüzde MEO yörüngesi yön bulum (navigasyon) amaçlı uydular tarafından yoğun bir şekilde kullanılır. 20 000 Km irtifada konumlanmış olan 24 GPS uydusu yön bulma amaçlı olarak faaliyet gösterir. Uydu kod bölmeli çoklu erişim (code division multiple access) tekniğini kullanarak L1(1575,42 MHz) ve L2(1227,6 MHz) olmak üzere iki frekansta mesafe kodu ve yön bulma verisi yayımlar. Her uydu bu frekanslarda yayın yapmakla birlikte farklı bir kod kullanır. Yön bulma verisi, alıcının uydunun yerini anında belirlemek için gerekli bilgiyi içerir [11].

2.3.3. Jeosenkron yörünge (geostationary orbit)

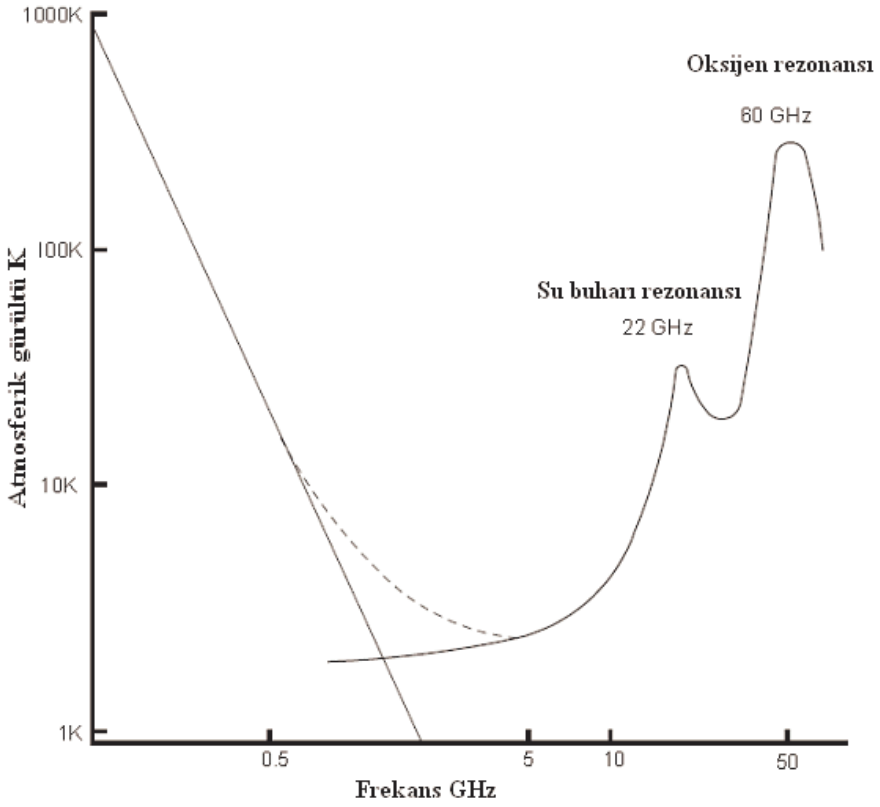
Şekil 2.3'te görüldüğü üzere GEO (geostationary orbit) yörüngedeki uydular yaklaşık 35 800 km irtifada bulunmakta ve dünya ile aynı açısal hız ile dönmektedirler. GEO uyduları haberleşme ve TV yayınlarının yanında meteorolojik araştırmalar için de kullanılır. Tezimizin esas içeriğini oluşturacak olan sistemler jeosenkron yörünge uydu sistemleri olacaktır.



Şekil 2.3. Jeosenkron yörünge

2.4. Frekans Bantları

Uydular, yer istasyonlarından gelen modülasyonlu elektromanyetik sinyali (uplink) alıp frekans çevrimi uygulayıp güçlendirerek yeryüzüne gönderir. Dünya yüzeyi ile uydu arasındaki yaklaşık 36 000 km'lik mesafeden dolayı iletim hattı olarak kullanılan havada 200dB mertebesinde ciddi sinyal zayıflamaları meydana gelir. Şekil 2.4'de görüldüğü üzere 0,5 ila 50 GHz frekans bandında daha az bir gürültü oluşur. Dolayısı ile bu frekans bandını kullanmak daha verimli olduğundan tercih edilir [12]. Söz konusu bu bant genişliğinde daha az sinyal güçlendirmesi ile haberleşme mümkün olur. Fakat teknolojinin gelişmesi doğrultusunda sinyal güçlendirmenin maliyeti giderek azalmaktadır. Bu bakımdan hem yüksek frekanslarda haberleşmenin getireceği küçük antenlerin kullanılabilir olması bir başka tasarım kıstası olarak kaşımıza çıkmakta ve 10 GHz üstü bantların kullanımı popüler hale gelmektedir (Çizelge 2.1).



Şekil 2.4. Atmosferik gürültü

Çizelge 2.1. Frekans bantları

Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Frekans Bantları	
L BAND	1,5-2 GHZ
S BAND	2,4-2,8 GHZ
C BAND	3,4-7 GHZ
X BAND	7,9-9 GHZ
Ku BAND	10,7-15 GHZ
Ka BAND	18-31 GHZ
Q BAND	40-50 GHZ
V BAND	60-80 GHZ

2.5. Uydu Uygulamaları

Haberleşme uyduları sağlamakta oldukları geniş kapsama alanı, esneklik ve iletişim maliyetinin iletim mesafesinden bağımsızlığı gibi sebeplerden dolayı birçok haberleşme uygulamasında, bakır kablo, koaksiyel kablo, fiber kablo, radyolink ve kablosuz diğer iletişim ortamlarına göre avantaj sağlarlar. Uydu üzerinde yayın (broadcast) ve çoklu iletim (multicast) gibi hizmetler özellikle kolay kurulabilirlik, kolay yönetilebilirlik sağlaması açısından tercih edilirler. Bunun yanında noktadan noktaya olan iletişim ve veri aktarılması uygulamalarında ise kullanımı nispeten yeni sayılabilecek olan farklı erişim teknolojileri ile maliyetlerin düşmesiyle uydu kullanılabilir bir seviyeye gelir.

2.6. Uydu Yer İstasyonları

Uydu yer istasyonları uydu haberleşmesi için gereken frekans çevrimi, güç yükseltimi, modülasyon, demodülasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği ve anten ile sinyal alışının/verişinin yapıldığı sistemlerdir. Uydu veriş (uplink) zincirinde temel bant sinyalleri ilk önce modülatör cihazı tarafından işlenir. Burada temel bant veri katarı sırası ile farklı hata kodlama teknikleri ile kodlamaya tabii tutulur gerekirse sistem yönetimi için fazladan veri paketleri eklenir. Temel bantta uyduya aktarılmak üzere modülatöre girilen bant genişliği bilgi veri oranı (information data rate) olarak isimlendirilirken modülatörde eklenen fazladan bitler ile oluşan bant genişliğine iletim veri oranı (transmission data rate) ismi verilir. Modülatörde ilave verilerin eklenmesi sonucu bitler modülasyon işlemine tabii tutulur ve oluşan sinyal L (750 MHz- 1 450 MHz aralığı) banda veya IF (70MHz veya 140 MHz bandı) bantta frekans yükseltici (upconverter) donanıma aktarılır.

Frekans yükseltici donanımında modülatörden gelen sinyalin nihai olarak frekans çevrimi gerçekleştirilir ve sinyal HPA (High Power Amplifier) olarak adlandırılan donanıma iletilir. HPA donanımı teknik olarak iki farklı şekilde olmaktadır. Genellikle yüksek güç kapasitesine sahip donanımlar katot tüpleri kullanılarak

yapılırken daha düşük güç değerleri için elektronik, yarı iletken malzemelerin kullanıldığı güçlendiriciler üretilir. HPA donanımları hava ve boşluğun iletim hattı olarak seçildiği uydu haberleşmesinde ortaya çıkan yüksek sinyal kayıplarını tolare etmek için sinyalin güçlendirilmesi işlemini gerçekleştirirler. HPA donanımında aynı zamanda sinyal artık elektriksel sinyal formundan elektromanyetik dalga formunu çevrilmiş ve anten üzerinden uyduya gönderilmeye hazır duruma getirilmiştir.

Alış zincirinde ise anten tarafından toplanan sinyaller besleme (feed) tarafından LNA (Low Noise Amplifier), LNB (Low Noise Block-converter) ya da LNC (Low Noise Converter) donanımına aktarılır. Bu her üç donanımında esas görevleri antenden gelen elektromanyetik sinyali elektriksel bir forma dönüştürüp sinyal seviyesini güçlendirmektir. Bu üç donanımına farklılaşması ise sinyal üzerinde gerçekleştirdikleri frekans çevrimleri ile oluşur. LNA hiçbir frekans çevrimi uygulamazken LNB 10 GHz'lik, LNC ise 9,950 GHz'lik bir frekans çevrimi uygular. Daha sonra ikinci bir frekans çevrimi frekans düşürücü (downconverter) donanımında sağlandıktan sonra sinyal demodülasyon, hata doğrulama işlemlerine tabii tutulmak üzere demodülatör donanımına iletilir.

3. MODÜLASYON TEKNİKLERİ

Haberleşme sistemleri bilgi (baseband), iletim ortamı, taşıyıcı (carrier) olmak üzere üç bölümden oluşur.

Bilgi temelde analog ve sayısal olmak üzere iki farklı yapıda olabilir. Analog işaretler sürekli sinyaller olup sinyal genliği herhangi bir değer alabilir. Örneğin insan sesi analog bir işarettir. Bir analog işaret sırası ile örnekleme ve sınıflama işlemlerine tabi tutularak sayısal bir işarete dönüştürülebilir.

İletim ortamı ise bilginin üzerinden aktarılacağı fiziksel ortamdır. Bu ortam kablolu olabileceği gibi hava ve boşlukta olabilir. İletim ortamının fiziksel yapısından kaynaklanan etkileri taşıyıcının ne olacağını belirler. Örneğin bir yonga üzerindeki kısa haberleşme kanallarında herhangi bir taşıyıcıya gereksinim yok iken atmosferik zayıflamanın çok yüksek olduğu uydu haberleşmesinde yüksek frekanslı taşıyıcılara gereksinim vardır.

Taşıyıcı ise sinüsoid yapıdaki sinyallerdir. Söz konusu bu sinyallerin içinden geçeceği ortam karakteristiklerine göre genlik ve frekansında değişiklik gösterirler. Modülasyon ise bir bilginin fiziksel ortamda taşınmasını sağlamak amacıyla bir taşıyıcı frekans üzerine bindirilmesidir. Modülasyon tekniklerinin sağlamakta olduğu avantajlar ile bilgi bir noktadan bir noktaya daha az bant genişliği ve daha az güç harcanarak iletilir. Sayısal modülasyon teknikleri genelde bir sinyalin sahip olduğu üç temel öğe olan frekans, genlik ve faz özelliklerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir.

Modülasyon türleri çok çeşitli olmakla birlikte kullanılacak olan fiziksel ortam ve uygulamaya bağlı olarak değişik özellikleri ile ortaya çıkar. Dolayısıyla en iyi modülasyon tipi olarak belirtebileceğimiz bir modülasyon türü mevcut değildir. Örneğin noktadan noktaya çalışan R/L (Radyo Link) hatları ile VHF (Very High Frequency) ve UHF (Ultra High Frequency) bantlarında çalışan mobil haberleşme

sistemleri bir birinden birçok noktada farklılaşırlar. R/L sistemlerinde genlik üzerinde çok az bir değişim görülürken mobil iletişim sistemlerinde NLOS (non line of sight) çalışmalarından dolayı sinyal seviyesi değişimleri çok fazla görülmekte ve yansıyan sinyalleri ile semboller arası girişim meydana gelir. Bütün bu etmenler sistemde kullanılacak olan modülasyon tekniğini etkiler.

Günümüz haberleşme sistemlerinde kullanılan uygulama ve teknolojiye bağlı olarak birçok modülasyon tekniği kullanılır. Haberleşme sistemlerinin analogdan sayısala dönüşmesiyle birlikte uydu üzerinde Dijital modülasyon teknikleri kullanılır (ASK, FSK, BPSK, QPSK, QAM, vb).

İki ve dört durumlu modülasyonlar daha az güce ihtiyaç duymakta olup düşük C/N (taşıyıcı gürültü oranı) değerlerinde dahi daha az bit hata oranına sahiptirler. Daha yüksek durumlu modülasyonlarda ise bant genişliği verimi (b/s/Hz) ve ihtiyaç duyulan güç artmaktadır. Günümüz uyduları ve yer sistem teknolojileri göz önünde bulundurulduğunda güç veriminin daha yüksek olduğu düşük durumlu modülasyon teknikleri tercih edilir. Fakat gelecekte SSPA (Solid State Power Amplifier), TWTA (Travelling Wave Tube Amplifier) gibi güçlendirici teknolojilerinin gelişmesi ve ileri hata kodlama tekniklerinin ilerlemesiyle yüksek durumlu modülasyon tekniklerinin yaygın olarak kullanılacağı öngörülmektedir.

3.2. Dijital Modülasyon Teknikleri

Dijital modülasyonlarda genellikle I ve Q olmak üzere iki farklı sinyal kullanılır. Bu iki farklı sinyalin bir birine dik (ortogonal) olması sebebi ile bu iki sinyalin farklı veri taşıması sağlanmakta ve dolayısı ile bant genişliği verimi arttırılmaktadır. Dijital modülasyon tekniklerinde I/Q sinyallerini kullanmak büyük kolaylık sağlar. Çoğu dijital modülasyon tekniği farklı verileri I/Q düzleminde belirledikleri farklı noktalar ile eşleştirir ve bu noktalara kümelenme (constellation) noktaları adı verilir.

3.2.1. Genlik kaydırmalı modülasyon tekniği (ASK)

Genlik kaydırmalı modülasyon tekniğinde üretilen sinyalin frekansı ve fazı sabit tutulurken genliğinde değişikler yapılarak veri taşınır. Veriler taşıyıcının farklı iki genlik seviyesi ile gösterilir. Genel olarak bu değerlerden birisi 0 genlik değeri ile ifade edilir. ASK modülasyonlu bir taşıyıcının matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir

$$S(t) = A\sin(2\pi f_c t) \quad \text{1 değeri için} \qquad (3.1)$$

$$S(t) = 0 \quad \text{0 değeri için}$$

Burada;

S(t): Taşıyıcı işaret

A: Taşıyıcı genliği

f_c : Taşıyıcı frekansı

t: Zaman

R veri oranı ve donanımsal tasarımdan kaynaklanan bir sabit olan r de 0 ile 1 arasında bir sabit olmak üzere, ASK modülasyonlu bir taşıyıcının bant genişliği aşağıdaki şekilde belirtilir.

$$B = (1+r)R \qquad (3.2)$$

Verinin sinyal genliğinde taşınması sebebiyle sinyal gürültüye ve zayıflamaya oldukça hassastır. Dolayısıyla atmosferik gürültünün ve atmosferik zayıflatmanın yüksek olduğu uydu haberleşmesinde bu modülasyon tekniği pek tercih edilmez. Daha çok fiber optik kablolar ile yapılan veri iletiminde kullanılır.

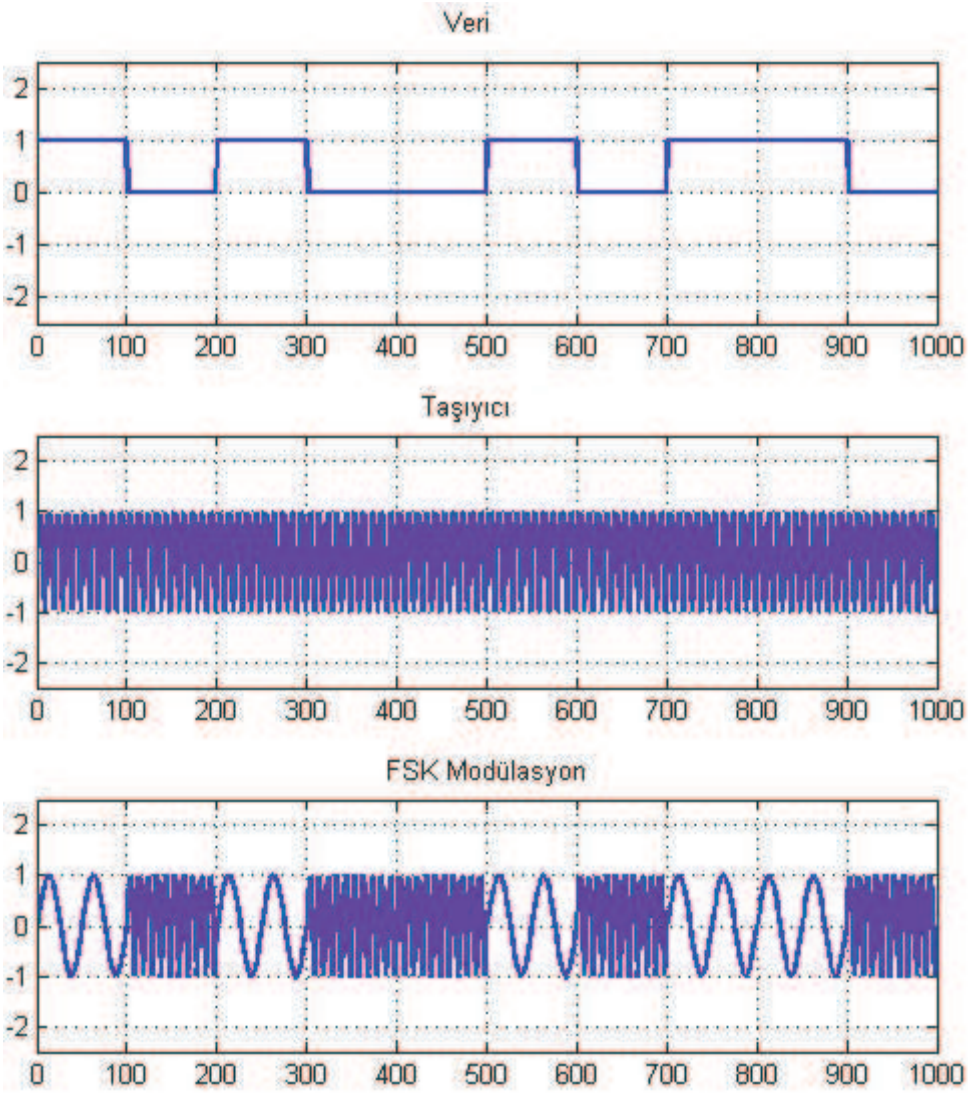
3.2.2. Frekans kaydırmalı modülasyon tekniği (FSK)

Frekans kaydırmalı modülasyon tekniği isminden de anlaşılacağı üzere gelen veriyi farklı frekanslarda sinyal kullanarak modüle eder (Şekil 3.1). En yaygın kullanım şekli 2-FSK'dır. Şekil 3.1'de görüleceği üzere 2-FSK metodu ile üretilmiş sinyalde '1' değeri için işaret frekansı olarak tabir edilen bir frekansta sinyal varken, '0'

değeri için boşluk frekansı olarak adlandırılan başka bir frekansta işaret mevcuttur. Dolayısıyla 2 farklı frekansta bir bitlik veri aktarımı yapılmakta ve 2-FSK modülasyonun bant genişliği verimi 0,5bps/Hz olarak hesaplanmaktadır. Frekans kaydırmalı modülasyon tekniğinin MSK, GMSK gibi farklı türevleri mevcut olup genellikle amatör radyoculukta ve GSM şebekelerinde kullanılır. FSK modülasyonlu bir sinyalin matematiksel ifadesi aşağıdaki biçimde verilir.

$$S(t) = A\sin(2\pi f_1 t) \quad \text{: 1 değeri için} \qquad (3.3)$$
$$S(t) = A\sin(2\pi f_2 t) \quad \text{: 0 değeri için}$$

Bu ifadedeki f_1, f_c+f_m veya f_c-f_m olabilir ve dolayısıyla taşıyıcının frekansında $2f_m$ kadar bir değişim söz konusudur. Bir FSK taşıyıcının ihtiyacı olduğu bant genişliği ise $BW = 2\times f(1+r)R$ eşitliğinden bulunur.



Şekil 3.1. FSK modülasyonlu sinyal

3.2.3. Faz kaydırmalı modülasyon tekniği (PSK)

Faz kaydırmalı modülasyon tekniği sayısal bilgi katarındaki verilerin değerine göre taşıyıcı sinyalin faz kaydırması esasına dayanır. Faz kaydırmalı modülasyonlar kullanılmakta olan M durum sayısına göre BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK olarak çeşitlenmekte ve Eş. 3.4 matematiksel ifadesi ile modellenmektedir.

BPSK (Binary Phase Shift Keying)

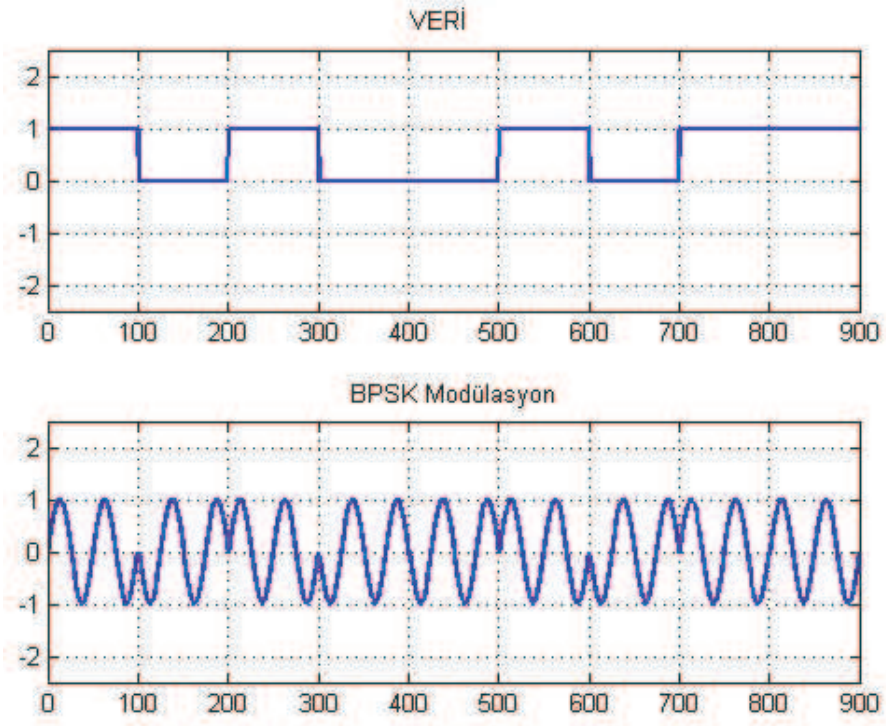
BPSK modülasyonda iki farklı faz durumu vardır ve verinin 1 veya 0 olması durumuna göre taşıyıcı fazında 180 derecelik bir değişim olmaktadır. BPSK modülasyonun bant genişliği verimi 1bps/Hz'dir. BPSK sinyal Eş 3.4 ile ifade edilir.

$$m(t) = C\cos[w_c t + \theta(t)], \qquad \theta(t) = 0° veya \ \ 180° \tag{3.4}$$

Burada;

C = Genlik

ω_c= taşıyıcı frekansı ifade etmektedir.



Şekil 3.2. BPSK modülasyonlu işaret

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)

QPSK modülasyonda dört farklı durum mevcut olup her bir sembol iki biti temsil eder. Bant verimi 2bps/Hz olup bir sembolde 2 bit taşınmasından dolayı hata ihtimali BPSK modülasyona göre iki kattır. Bu nedenle QPSK modülasyonlu bir veriyi

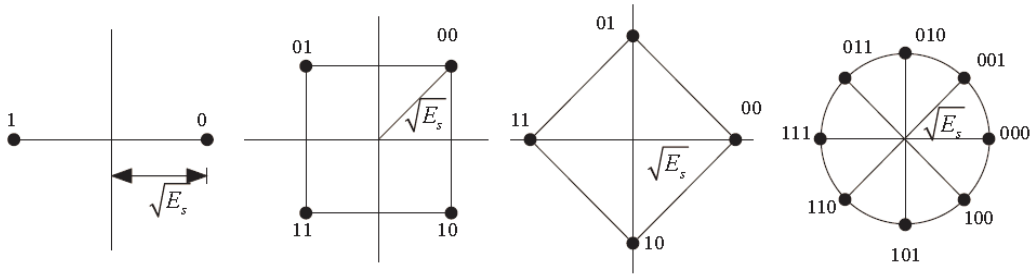
taşımak için sinyalin daha kuvvetli iletilmesi gerekmektedir. QPSK sinyali Eş 3.5 ile verilir.

$$S_i(t) = A_c\, p_s(t) \cos\left[2\pi f_c t + \frac{2\pi i}{M}\right] \tag{3.5}$$

Burada $p_s(t)$ ifadesi veri katarını ifade etmekte olup söz konusu veri katarı ile ifadenin fazı değişir. Faz bir devir (periyot) içerisinde en fazla 2π kadar değişir. Bu faz farkı M değişken seviye kadar bölünebilir. Dolayısıyla 1 sembol ile taşınan veri miktarı arttırılarak bant genişliği kullanımı noktasında verimlilik yükseltilir. Buradaki modülasyon açışı θ_i aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$\theta_i = \frac{2\pi i}{M} \tag{3.6}$$

M modülasyonun derecesini ifade etmekte olup BPSK için 2, QPSK için 4, 8PSK için 8 ve 16PSK için 16 değerini almaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. MPSK fazör diyagramı

M-PSK sinyallerin temel bant (baseband) kısmında kare dalgalar kullanılır. Söz konusu kare dalganın genliği A ile ifade edilirken kare dalganın enerjisi sinyalin gücü ile sembol süresi T'nin çarpımıyla bulunur. Güç R=1 ohm için A^2 ve sembol süresi T olarak gösterilirse dalganın enerjisi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$E = 1 = \frac{A^2 T}{2} \tag{3.7}$$

$$A = \sqrt{\frac{1}{T}} \tag{3.8}$$

0<t<T için $p_s(t) = \sqrt{\frac{2}{T}}$ ve A_c değerini de $\sqrt{E_s}$ olarak alınırsa, Eş. 3.10 elde edilir.

$$S_i(t) = A_c \sqrt{\frac{2}{T}} \cos\left[2\pi f_c t + \frac{2\pi i}{M}\right] \tag{2.9}$$

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left[2\pi f_c t + \frac{2\pi i}{M}\right] \qquad i=0,1,2\ldots M \tag{3.10}$$

Eş. 3.10 ifadesi trigonometrik fonksiyonlar ile açılırsa,

Cos(A+B)=CosA CosB - SinA SinB olduğundan;

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left[2\pi f_c t + \frac{2\pi i}{M} + \frac{\pi}{4}\right] = \sqrt{\frac{2E_s}{T}}\left[\cos(2\pi f_c t)\cos\left(\frac{2\pi i}{M} + \frac{\pi}{4}\right) - \sin(2\pi f_c t)\sin\left(\frac{2\pi i}{M} + \frac{\pi}{4}\right)\right] \tag{3.11}$$

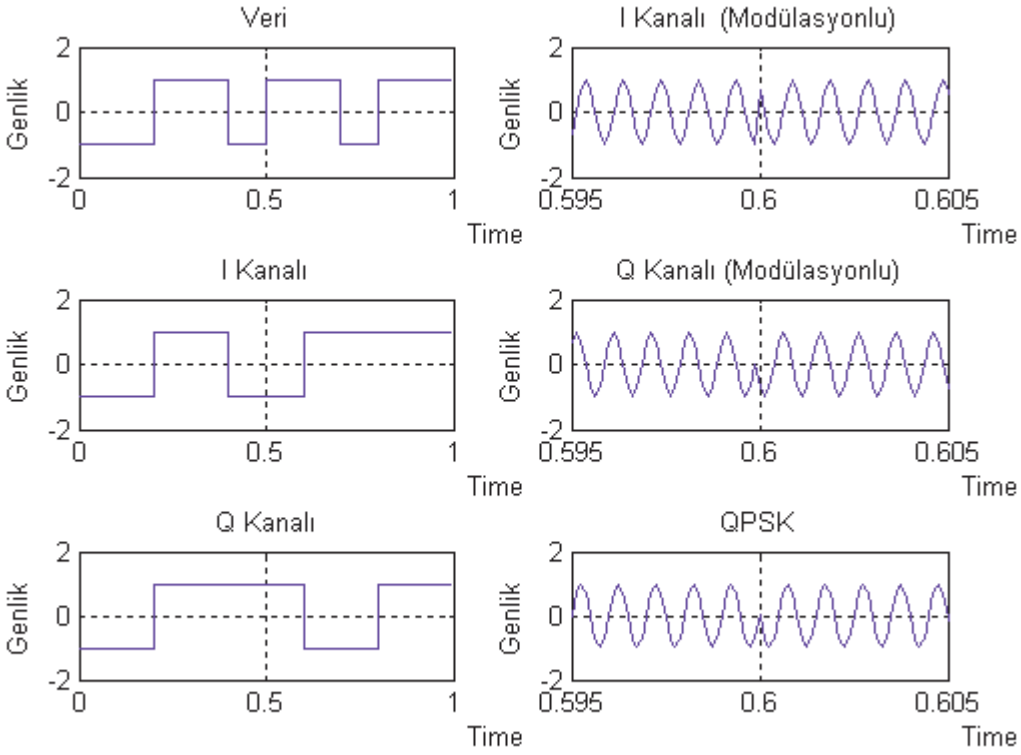
olarak elde edilir.

Eş. 3.11'de yapılan π/4'lük öteleme modülasyonu değiştirmemektedir. İfade birbirine dik olan I ve Q kanallarına M=4 için aşağıdaki şekilde ayrılarak Eş. 3.14 ve Eş. 3.15 elde edilir.

$$I = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t) \ , \qquad Q = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(2\pi f_c t) \tag{3.12}$$

$$I = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t)\left(\cos\left(\frac{\pi}{4}\right) veya \cos\left(\frac{3\pi}{4}\right) veya \cos\left(\frac{5\pi}{4}\right) veya \cos\left(\frac{7\pi}{4}\right)\right) \tag{3.13}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(2\pi f_c t)\left(\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) veya \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right) veya \sin\left(\frac{5\pi}{4}\right) veya \sin\left(\frac{7\pi}{4}\right)\right) \tag{3.14}$$



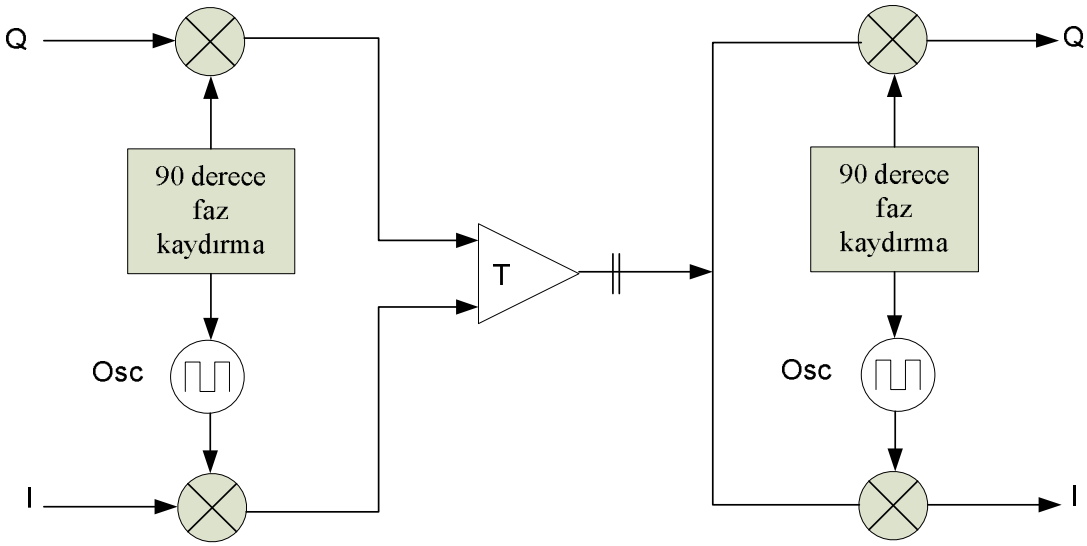
Şekil 3.4. QPSK modülasyonlu sinyal bileşenleri

Böylece I ve Q bileşenlerinden oluşan sinyal Eş. 3.15'teki formda yazılabilir buradaki altı çizili ifadeler sinyalin genliğini belirlemektedir [13].

$$S(t) = \underline{\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos\theta(t)} \cdot \cos(2\pi f_c t) - \underline{\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\sin\theta(t)} \cdot \sin(2\pi f_c t) \tag{3.15}$$

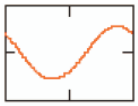
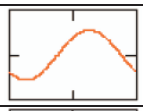
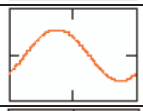
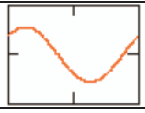
Örnek bir veri katarının I ve Q kanalları ile birlikte QPSK modülasyonuna tabi tutulması Şekil 3.4'te verilmiştir.

QPSK sinyalde her bir sembol iki adet veri taşımakta ve birbiri ile arasında 90 derecelik faz farkı bulunan 4 adet sembol mevcuttur. İlk sembol 45 derecede iken diğerleri 135, 225 ve 315 derecelerindedir (Çizelge 3.1).



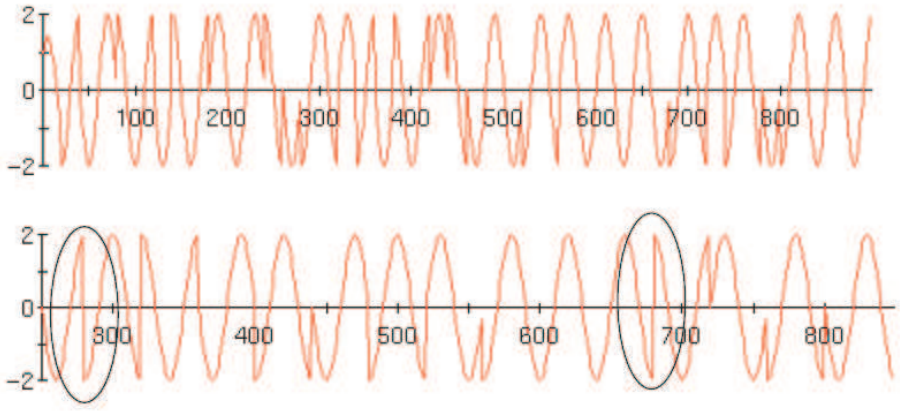
Şekil 3.5. QPSK modülatör ve demodülatör blok diyagramı

Çizelge 3.1. QPSK Modülasyon

Sembol	Veri	İşaret	Faz	Modülasyon işareti	I	Q
S0	00	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(2\pi f_c t+\frac{\pi}{4})$	45		1	1
S1	01	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(2\pi f_c t+\frac{3\pi}{4})$	135		-1	1
S2	11	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(2\pi f_c t+\frac{5\pi}{4})$	225		-1	-1
S3	10	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(2\pi f_c t+\frac{7\pi}{4})$	315		1	-1

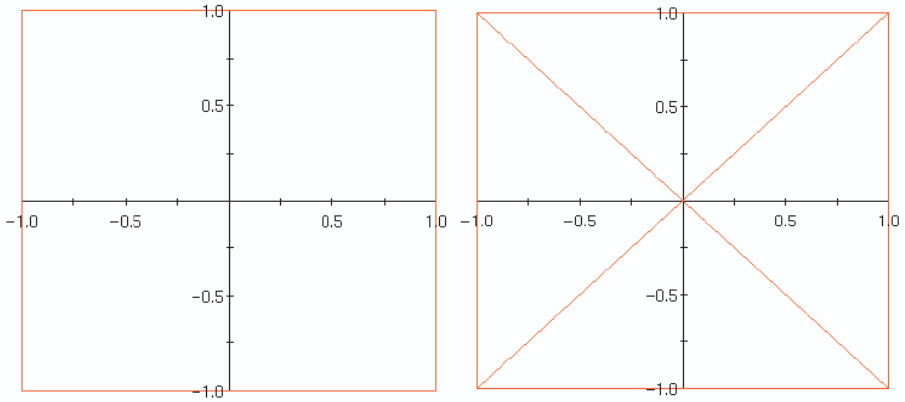
QPSK modülasyon bir bit katarının ikiye ayrılması ve sonrasında oluşan her bit katarının BPSK modülasyona uğramasından elde edilen sinyalin bileşkesiyle elde edilir (Şekil 3.5). Fakat bu yöntemle bit katarına göre QPSK modülasyonlu sinyalde 180 derecelik faz farkları olur ve bu faz farkı sinyalde istenmeyen genlik dalgalanmalarına yol açabilir. Bu durum QPSK modülasyon kullanan sistemlerde lineer kuvvetlendiricilerin kullanılmasını zorunlu kılmakta ve maliyetleri artırmaktadır. Bu sebeple pratikte QPSK modülasyon yerine 180 derecelik faz

farkından oluşan genlik dalgalanmalarının önüne geçen OQPSK (ofset QPSK) modülasyonu kullanılır. OQPSK tekniğinde ikiye ayrılmış olan bit katarı aynı anda BPSK modülasyona tabi tutulmaz ve aralarında yarım sembol periyodu kadar bir zaman farkı bırakılır. Böylece Şekil 3.6'da görüleceği üzere anlık faz değişmeleri 90 derece ile sınırlandırılarak istenmeyen genlik dalgalanmalarının önüne geçilmiş olur. OQPSK QPSK sinyal ile aynı veri hata oranı (BER) sahip olmakla beraber sinyal kuvvetlendiricilerin doyumda çalışmaları durumunda daha iyi veri hata oranları sağlayabilmektedir.



Şekil 3.6. QPSK ile OQPSK arasındaki sinyal farkı

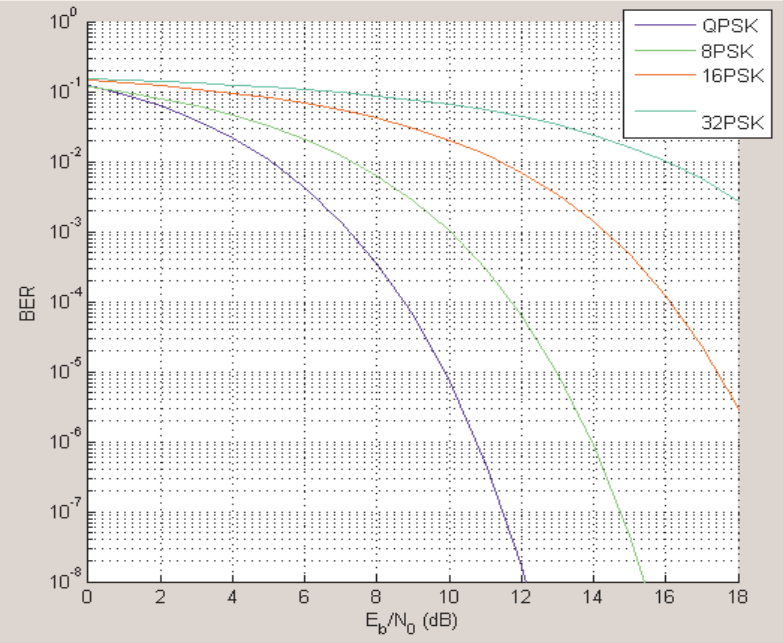
Şekil 3.7'de OQPSK ve QPSK modülasyon tekniklerine ait fazör diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.7. OQPSK-QPSK fazör diyagramı

Yüksek Mertebeden Faz Kaydırmalı Modülasyonlar

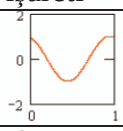
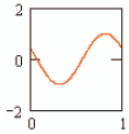
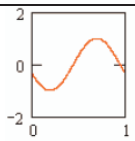
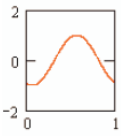
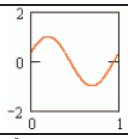
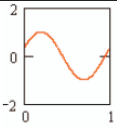
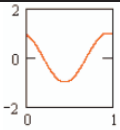
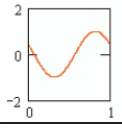
8PSK modülasyonda fazör diyagram üzerinde 45 derecelik faz farkları ile yerleştirilmiş 8 farklı nokta bulunur. Her bir sembol 3 bitlik veri taşıdığı için bant genişliği verimi 3 bps/Hz olarak hesaplanır. QPSK modülasyona göre bant genişliği verimi artarken buna mukabil hata oranı da artmakta ve sistemin sağlıklı çalışabilmesi için gerekli enerji ihtiyacı yükselmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Eb/No BER grafiği

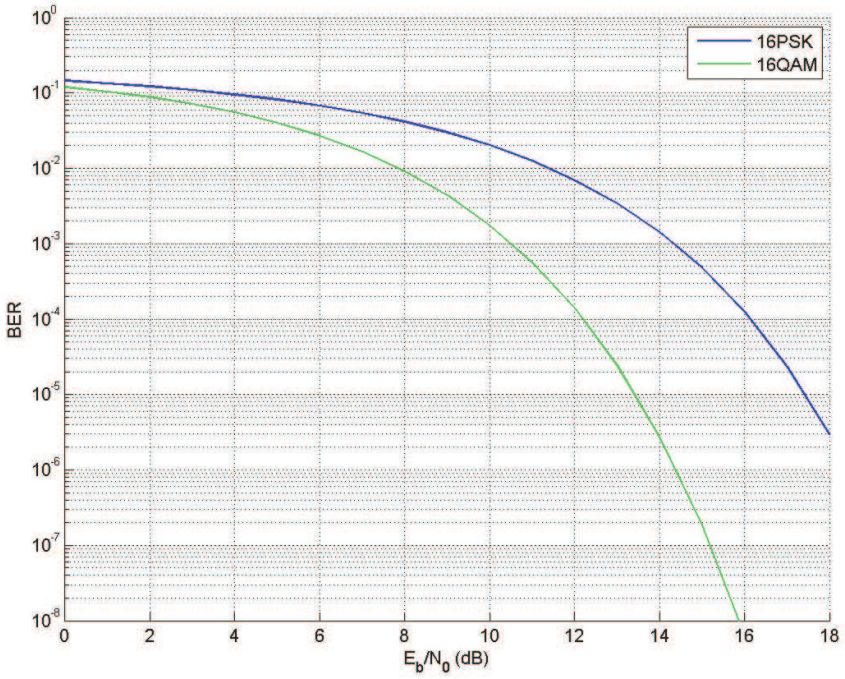
$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} = 1{,}414$ kabul edilirse 8PSK sinyal bileşenlerinin I ve Q değerlerini Tablo 3.1'de görüldüğü gibi olur [13].

Çizelge 3.1. 8PSK modülasyon

Sembol	Veri	İşaret	Faz	Modülasyon işareti	I	Q
S1	000	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t)$	0		1.414	0
S2	001	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{\pi}{4})$	45		1.0	1.0
S3	011	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{\pi}{2})$	90		0	1.414
S4	010	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{3\pi}{4})$	135		-1.0	1.0
S5	110	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{5\pi}{8})$	180		1.414	0.0
S6	111	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{7\pi}{8})$	225		-1.0	-1.0
S7	101	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{9\pi}{8})$	270		0.0	-1.414
S8	100	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\frac{11\pi}{8})$	315		1.0	-1.0

16PSK

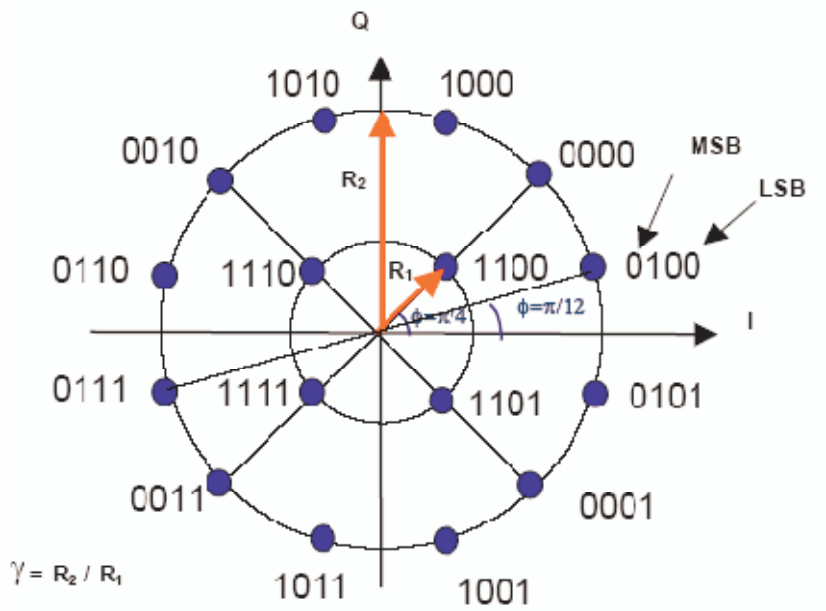
16PSK modülasyonda fazör diyagram üzerinde 22,5 derecelik faz farkları ile yerleştirilmiş 16 farklı nokta bulunur. Her bir sembol 4 bitlik veri taşıdığı için bant genişliği verimi 4 bps/Hz olarak hesaplanır. 16PSK modülasyon aynı bant genişliği verimine sahip 16QAM'den daha fazla bit hata oranına sahip olduğundan nadiren kullanılır (Şekil 3.9).



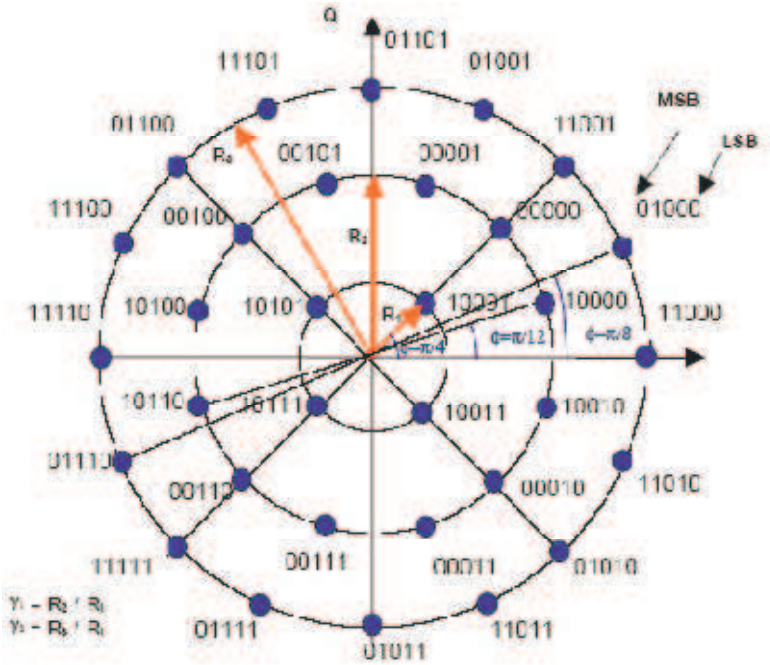
Şekil 3.9. 16PSK ve 16QAM karşılaştırması

3.2.4. Genlik ve faz kaydırmalı modülasyon (APSK)

APSK olarak adlandırılan genlik ve faz kaydırmalı modülasyon tekniği aslında genlik kaydırmalı modülasyon ile faz kaydırmalı modülasyon tekniklerinin birleşiminden oluşur. Böylece sembollerin ifade etmekte olduğu bit sayısı artırılarak bant genişliği verimi yükseltilir. Örneğin Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de fazör diyagramı verilmiş olan 16APSK ve 32APSK'nın bant genişliği verimleri sırasıyla 4bps/Hz ve 5bps/Hz'dir. DVB-S2 standardında da kullanılmakta olan 16APSK ve 32APSK yayınlarında yüksek C/N değerleri gerekir.



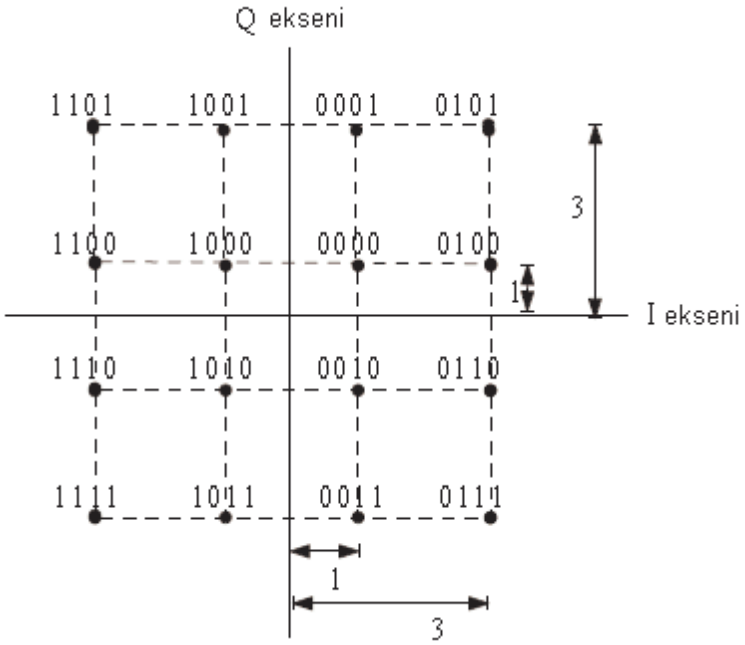
Şekil 3.10. 16APSK fazör diyagramı



Şekil 3.11. 32APSK fazör diyagramı

3.2.5. QAM (Quadrature Amlitude Modulation)

QAM modülasyon tekniği iki farklı taşıyıcının üzerindeki genlik değişimleri ile verinin iletimini sağlar. Söz konusu bu farklı iki taşıyıcı arasında 90 derecelik faz farkı bulunur. QAM APSK modülasyona oranla daha az genlik basamağına sahip olduğundan daha fazla tercih edilir. QAM modülasyonun fazör diyagramı dikdörtgensel formda olup Şekil 3.12'de verilmiştir. 16QAM modülasyonda 4 adet Q ve 4 adet I kanalı mevcuttur. Bu nedenle fazör diyagramda 16 nokta oluşur. 16 QAM 4bps'lik bant genişliği verime sahiptir. 32QAM, 64QAM gibi yüksek mertebeden QAM modülasyonlar mevcut olup, pratik olarak en son 256QAM kullanılır.



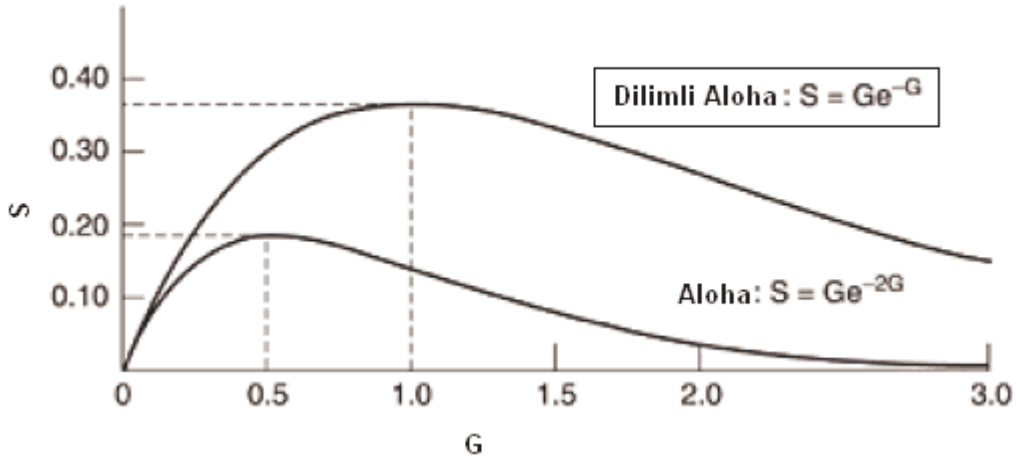
Şekil 3.12. 16QAM fazör diyagramı

4. ÇOKLU KANAL ERİŞİM METOTLARI

Haberleşme şebekelerinde, birçok terminalin birbiriyle aynı fiziksel ortam üzerinden sinyallerin karışmadan haberleşebilmesini ve söz konusu fiziksel ortamın kapasitesinin verimli kullanılabilmesi için bir takım kanal erişim metotları geliştirilmiştir. Temel olarak bu metotlar çarpışmalı (contention) ve çarpışmasız (conflict free) erişim teknikleri olarak ikiye ayrılır. Çarpışmalı erişim teknikleri doğası gereği paketlerin çarpışma ve kaybolma ihtimali ihtiva eden erişim metotları olup, genelde temel bant ve yerel bilgisayar ağlarında kullanılır. Bant genişliğinin nispeten dar ve gecikmenin yüksek olduğu kablosuz haberleşmelerde ise çarpışmasız erişim teknikleri kullanılır. Söz konusu erişim teknikleri bütün haberleşme sistemlerinin fiziksel katmanlarının temelini oluşur. Bu çalışmada, uydu haberleşme sistemleri esas alınacaktır ve dolayısıyla çarpışmasız erişim metotlarından TDMA, FDMA ve CDMA erişim teknikleri incelenecektir. Çoklu kanal erişim metotları OSI referans modeline göre, veri bağı katmanı ile fiziksel katman arasında bulunur [14].

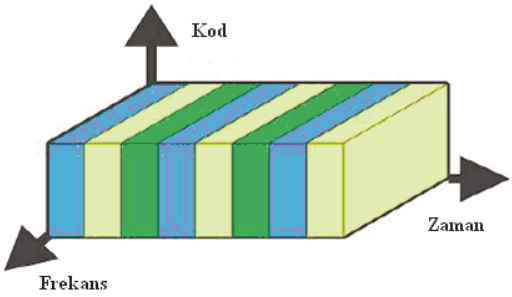
4.2. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (TDMA)

Zaman bölmeli çoklu erişim tekniği ile bir fiziksel ortam farklı zaman dilimlerine bölünür (Şekil 4.2). Bu zaman dilimi aynı anda sadece bir kullanıcıya tahsis edilmek üzere farklı kullanıcılar (terminaller) arasında paylaştırılır. Günümüzde özellikle VSAT sistemlerinde oldukça yoğun olarak kullanılmakta olan TDMA erişim metodu en ilkel hali ile Aloha olarak 1970'li yıllarda tasarlanmıştı. Aloha kullanıcılara bir bant genişliği sunmakta ve kullanıcıların gelişi güzel ihtiyaç duyulduğu bir anda kullanılmasını öngörmekteydi. Fakat Aloha protokolünde girişim ihtimalinin yüksek olması, sistem verimliliğini oldukça düşürmekteydi. Dilimli Aloha (Sloted Aloha) olarak adlandırılan erişim tekniğinde Aloha erişim tekniğine zaman dilimleri eklenmiş ve girişim ihtimali düşürülerek sistem verimi Şekil 4.1'de görüldüğü şekliyle yükseltilmiştir [15]. Şekil 4.1'de S her bir çatı zamanında iletilen veri miktarını ifade ederken, G her bir paket zamanındaki ileti teşebbüsünü göstermektedir.

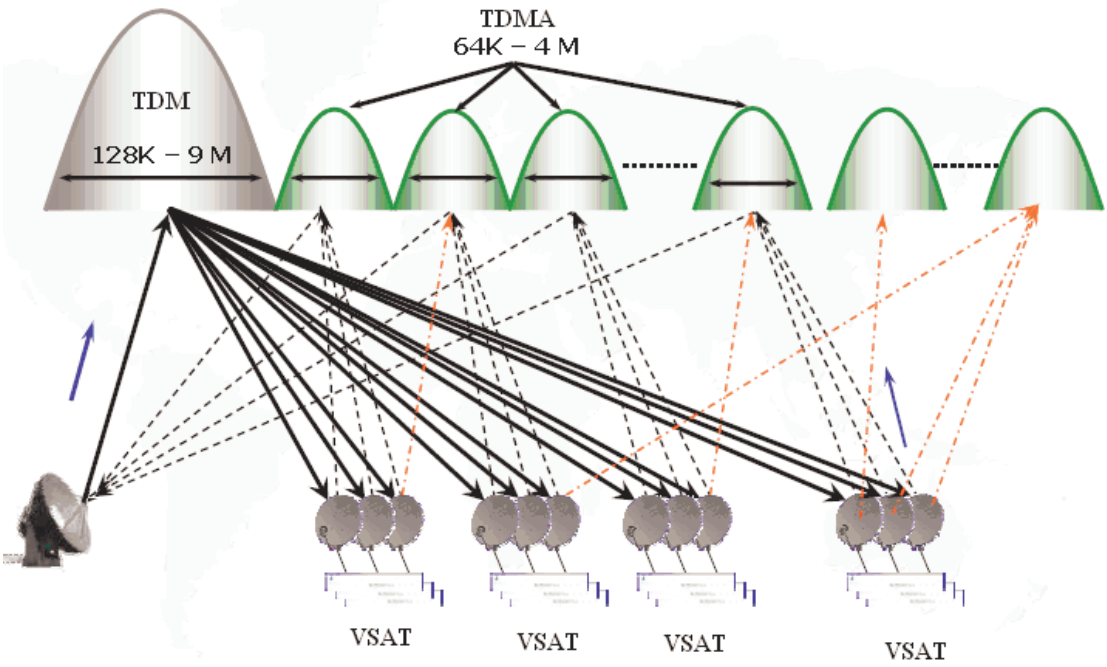


Şekil 4.1. Aloha ve dilimli Alohanın net hız grafiği [15]

Dilimli Aloha TDMA sisteminin en basit halini oluşturmakta olup günümüzde gerek uydu sistemlerinde gerekse de temel bant seviyesinde daha az girişim ihtimali olan ve dolayısıyla daha verimli erişim teknikleri kullanılır. Örneğin temel bant seviyesinde CSMA (Carrier Sense Multiple Accsess), CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Accsess /Carrier Detect) gibi teknikler kullanılırken VSAT sistemlerinde MF-TDMA (Multiple Frequency Time Division Multiple Access), deterministik TDMA gibi erişim teknikleri kabul görmektedir. Aloha protokolü zaman paylaşımını sağlamasına rağmen, girişim ihtimalinin olduğu bir erişim tekniği olup TDMA şebekeleri önceden atanmış zaman dilimleri ile çarpışmasız bir iletim ortamı sağlar. MF-TDMA sistemleri VSAT sistemlerinin yanında GSM sistemlerinde de tercih edilirler. MF-TDMA aslında TDMA ve FDMA erişim tekniğinin birleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Örneğin bir terminal TDMA sistemlerindeki gibi zaman paylaşımlı olarak belirlenen bir kanalı kullanırken, MF-TDMA yapısında bu kanal sayısı arttırılmış ve terminale farklı kanallardaki zaman dilimlerini kullanabilme imkânı sağlanmıştır. VSAT sistemlerinde yoğun olarak kullanılan bu teknik ile bant genişliği kullanım verimi yükseltilmiştir. Genel olarak TDMA sistemlerde her bir zaman dilimi bir kontrol merkezi tarafından kullanıcılara atanır. Fakat şebekeye dâhil olmak isteyen yeni kullanıcılar ise sistemde Aloha olarak tanımlanmış bir zaman çerçevesine sinyal göndererek ilk haberleşmeyi sağlarlar (Şekil 4.3).



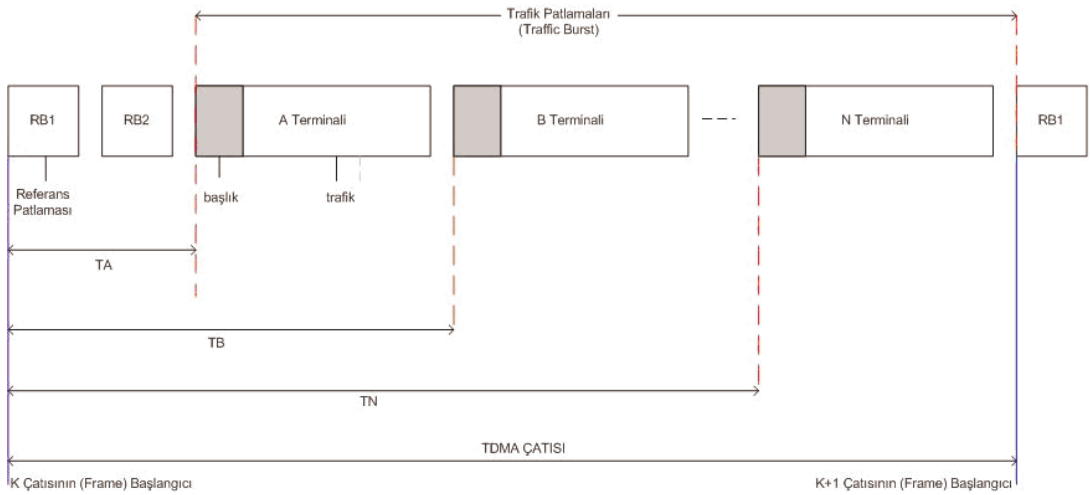
Şekil 4.2. TDMA erişim tekniği



Şekil 4.3. TDMA VSAT topolojisi

TDMA trafik parçaları aşağıdaki Şekil 4.4'de gösterildiği çerçeve yapısına sahiptir. Şekildeki çerçeve RB1 referans paketi başlar ve kullanıcıların bu referans paketi ile senkronize olması sağlanır. Hassasiyetin önem kazandığı sistemlerde RB1 referans paketinin yanında RB2 paketi de üretilerek sistem hassasiyeti yükseltilir. Şekildeki örnekte aynı iletişim hattını referans paketinden T_a zaman sonra A terminali kullanırken T_b zaman sonra hat B terminali tarafından kullanılır [16]. Terminaller

arasındaki zaman dilimi (time slot) paylaşımı ön atamalı protokoller ile yapılabileceği gibi terminal talebi doğrultusunda da yapılabilir.



Şekil 4.4. TDMA çatısı

Referans paketi esas olarak üç kısımdan oluşur. İlk kısım CBR (Carrier and Bit Timing Recovery) olarak adlandırılmakta olup taşıyıcı ve veri senkronizasyonunu sağlar. CBR genelde başlangıçta modülasyonsuz bir taşıyıcı ve ardından sembol vurum sıklığında (symbol clock rate) taşıyıcı frekansın 0 ve π gibi çeşitli faz değişimlerinden oluşur. CBR sistem tasarımında düşünülen C/N değerine göre 30 ila 300 arasında sembol sayısından oluşabilir.

CBR kısmını UW (unique word) olarak adlandırılan paket yapısı takip eder. UW taşıyıcının P ve Q fazlarında oluşturulan 1, 0'lardan oluşur. Böylece iyi bir korelasyon özelliği edilmiş olunur.

CBR'ın son bölümünü CDC (Control and Delay Channel) olarak adlandırılan kontrol ve gecikme kanalı oluşturur. CDC esas olarak terminallerin zaman dilimi paylaşımını terminallere bildiren tabloları içerir.

Bazı TDMA sistemlerinde istasyonların haberleşebilmesi için SC (service channel) servis kanalları kullanılır. Referans paketinin içindeki SC, TTY (Teletypre) kanalları ile istasyonlar arası haberleşme mümkün olabilmektedir.

Görüldüğü üzere TDMA çerçevesinde senkronizasyon, kontrol ve güvenlik verileri mevcuttur. Dolayısıyla terminallerin göndermiş olduğu veriden daha fazla bir bant genişliği kullanılır. Bu noktada TDMA sistemlerinin verimi Eş. 4.1 ile hesaplanabilir. Burada RF çerçeve veri oranını, TF çerçeve süresini, N trafik dilimi sayısını, K referans paketlerinin sayısını, SP trafik paketlerinin başlama ekinin (preamble) sembol oranını, SRB referans paketlerinin sembol oranını ve son olarak SG de güvenlik süresini ifade etmektedir [16].

$$\eta = \frac{R_F T_F / 2 - N S_P - K S_{RB} - (N+K) S_G}{R_F T_F / 2} \times 100\% \tag{4.1}$$

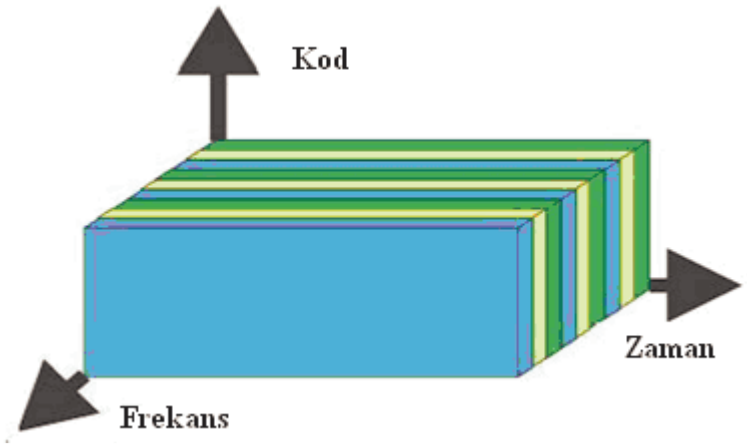
TDMA sistemleri zaman paylaşımını esas alarak çalıştığı için FDMA sistemlere nazaran lineer durumu sınırlı olan TWTA cihazları üzerinde daha az intermodülasyon oluşmasını sağlar.

4.3. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (FDMA)

Frekans bölmeli çoklu erişim tekniği FDMA terminallerin fiziksel ortamı farklı frekans kanallarını kullanması ile paylaştırılmasıdır (Şekil 4.5). Böylece bant genişliği belirlenmiş bir frekans aralığının kullanımı ile haberleşme sağlanır. SC-FDMA olarak ta adlandırılan bu erişim metodu TDMA ve varyasyonlarının bant genişliği, verici gücü avantajlarından dolayı VSAT sistemlerinde tercih edilen bir erişim tekniği değildir. FDMA uydu haberleşmesinde daha çok 1980'li ve 1990'lu yıllarda ses iletimi için yoğun olarak kullanılmakta idi. FDMA ile her bir kanal kalıcı olarak bir frekans bandını kullanmakta ve bundan dolayı sistem işaretleşme için ilave bir bant genişliği kullanır. Fakat bant genişliğinin maliyetli olması FDMA sistemler üzerinde de farklılaşmaya sebebiyet vermiş ve talebe bağlı erişim (Demand

Asignment Multiple Access) sunan sistemler ortaya çıkmıştır. Böylece kullanılacak bant genişlikleri talebin olması durumunda atanmakta ve kalan zamanlarda farklı uydu yer istasyonlarının taleplerine yanıt vermektedir.

FDMA sistemlerde bir güçlendirici üzerinden farklı taşıyıcıların aynı anda güçlendirilmesinden kaynaklanan intermodülasyon olayı sıklıkla görülmekte ve bir dezavantaj olarak karşımız çıkmaktadır.



Şekil 4.5. FDMA erişim tekniği

4.4. Kod Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (CDMA)

CDMA ya da diğer bir değişle yaygın spektrum haberleşmesi taşıyıcıların birbiri üstüne çıkması sebebiyle TDMA ve FDMA metotlarından ayrılır (Şekil 4.6). İlk olarak askeri haberleşme sistemleri için tasarlanan CDMA uydu sistemler daha sonra ticari uydu haberleşmesi sektöründe de talep görmüştür. CDMA sistemler uydu haberleşmesinin yanı sıra mobil telefon haberleşmesi sistemlerinde de girişim (enterferansa) olan direnci sebebiyle kullanılır. CDMA erişim tekniğinin pratik kullanımda iki farklı formu söz konusu olup, bunlar DSSS (direct sequence spread spectrum) ve FHSS (frequency hopping spread spectrum) olarak adlandırılır. FHSS bluetooth protokolünde ve Omnitrack isimli uydu sistemlerinde kendine uygulama alanı edinse de ticari uydu haberleşme servislerinde genel olarak DSSS CDMA metodu kabul görmektedir.

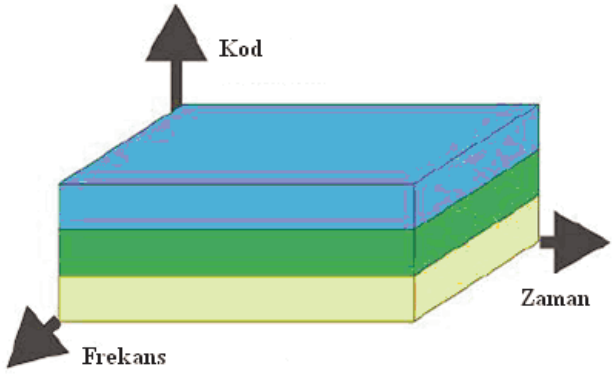
Yaygın spektrum tekniği ile çok düşük C/N seviyelerinde veri iletimi sağlanabilmektedir ve girişime olan dirençide oldukça yüksek olmaktadır. Shannon Hartley kapasite teoremine göre bir fiziksel kanaldan iletilecek olan verinin miktarı sinyalin seviyesine (C/N) ve bant genişliğine (BW) bağlıdır.

$$C = BW \times \log_2(1 + C/N) \tag{4.2}$$

Burada;
C: Kanal Kapasitesi, BW: Bant Genişliği, C/N: Sinyal Gürültü Oranı'dır.

Yaygın spektrum tekniği ile kanal kapasitesi bant genişliğinin yükseltilmesi ile sağlanır, böylece sinyal gürültü oranının düşük kalması sağlanmış olur.

CDMA yaygın spektrum teknolojisi ve özel bir kodlama yapısı üzerine kurulmuş çoklu erişim tekniğidir. Matematiksel olarak işaret uzayında bir sinyal vektör olarak ifade edilir. CDMA tekniği, diklik (ortogonal) özelliği bulunan vektörler ile veriyi kodlar ve fiziksel ortama iletir. Böylece özel kodlar ile kodlanmış veri alıcı tarafta herhangi bir sinyal bozukluğuna uğramadan çözülebilir.



Şekil 4.6. CDMA çoğullama sistemi

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de iki verinin bir birine dik (1,-1) ve (1,1) kodları ile kodlanması ve daha sonra alıcı tarafta tekrar çözülmesi gösterilmektedir [17].

Çizelge 4.1. Verinin CDMA ile kodlanması [17]

Adım	(Kodlama) terminal0	(Kodlama) terminal1
0	vektör0=(1,–1), veri0=(1,0,1,1)= (1,–1,1,1)	vektör1=(1,1), veri1=(0,0,1,1)= (–1,–1,1,1)
1	kodlama0=vektör0.veri0	kodlama1=vektör1.veri1
2	kodlama0=(1,–1).(1,–1,1,1)	kodlama1=(1,1).(–1,–1,1,1)
3	kodlama0=((1,–1),(–1,1),(1,–1),(1,–1))	kodlama1=((–1,–1),(–1,–1),(1,1),(1,1))
4	signal0=(1,–1,–1,1,1,–1,1,–1)	signal1=(–1,–1,–1,–1,1,1,1,1)

Çizelge 4.2. CDMA sinyalinin çözülmesi [17]

Adım	(Kod çözme) terminal0	(Kod çözme) terminal0
0	vektör0=(1,–1), örüntü= (0,–2,–2,0,2,0,2,0)	vektör1=(1,1), örüntü=(0,–2,–2,0,2,0,2,0)
1	kod çözme0=örüntü.vektör0	kod çözme1=örüntü.vektör1
2	kod çözme0= ((0,–2),(–2,0),(2,0),(2,0)).(1,–1)	kod çözme1=((0,–2),(–2,0),(2,0),(2,0)).(1,1)
3	kod çözme0= ((0+2),(–2+0),(2+0),(2+0))	kod çözme1=((0–2),(–2+0),(2+0),(2+0))
4	veri0=(2,–2,2,2)=(1,0,1,1)	veri1=(–2,–2,2,2)=(0,0,1,1)

Yaygın spektrum teknolojisi adından da anlaşılacağı üzere bir kullanıcının verisini gönderebilmesi için gerekli olan bant genişliğinden oldukça büyük bir bant genişliğinde iletmesi ve bu verinin özel bir gürültü benzeri sinyal üzerine bindirilmesi esasına dayanır. Yaygın spektrum sistemler güvenlik sebebiyle özellikle askeri uygulamalarda oldukça sık kullanılır.

5. HATA TESPİT VE DÜZELTME TEKNİKLERİ

Haberleşmede kullanılan fiziksel ortamlarda sinyal her zaman için istenmeyen gürültü, girişim ve zayıflama gibi bir takım olumsuz etkilere maruz kalır. Dolayısıyla gönderilen sinyalin içindeki 1 ve 0'ların her an için değişerek mesajın anlamını yitirmesi olasıdır. Bu bozulmada başlıca iki hata düzeltme yaklaşımı ile düzeltilir.

Bu iki farklı yaklaşım, farklı iletim ortamlarındaki ihtiyaçlar sonucu ortaya çıkmıştır. Örneğin fiber gibi fiziksel olarak girişim ve diğer bozucu etkilere oldukça dayanıklı bir iletim ortamında hata düzeltme kodları kullanılarak ilave bant genişliği kullanılması verimli bir çözüm olmamaktadır. Fakat havanın, uzayın iletim ortamı olarak seçildiği kablosuz iletim ortamlarında hata düzeltme kodlarının kullanılması daha verimli bir iletişim ortamı oluşturulmasını sağlar.

5.2. Hata Düzeltme Kodları

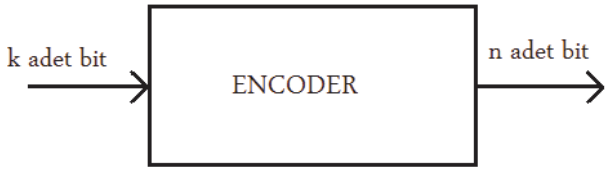
Genel olarak ileri hata kontrolü yönteminde gönderilen veri katarının içerisine hatanın nerede olduğunu ortaya çıkartmaya yarayan bir takım ilave bilgiler eklenir. Yine bu ilave veriler kullanılarak veri katarındaki hatalar düzeltilerek hata kontrolü sağlanır.

İleri hata kodlama (Forward Error Correction FEC) tekniklerinde bilgi katarının içerisine oluşacak hataların yerinin tespit edilmesi ve düzeltilmesine yetecek kadar veri eklenir. Özellikle bir verinin tekrardan gönderilmesinin yüksek gecikmelere sebep olduğu uydu haberleşmesinde ve verinin tekrar gönderilemeyeceği gerçek zamanlı uygulamalarda (ses haberleşmesinde) oldukça yoğun olarak kullanılır. Günümüzde hata doğrulama yöntemleri blok kod (block codes) ve katlamalı kodlar (convolutional code) olmak üzere iki farklı başlık içinde incelenir.

5.3. Hamming Kodu

Kodlama teorisinde mesaj, kullanılacak veriler ve kontrol bitlerinden oluşur. Bu kontrol bitleri kod kelimesi (code word) olarak adlandırılır. Kod kelimeleri ile farkına varılabilecek hata sayısı da, Hamming uzaklığı (Hamming Distance) olarak elde edilir. Bir bilgi katarındaki n adet hatayı tespit edebilmek için ilave n+1 adet kontrol biti eklenmelidir. Yine bir bit katarı içindeki n adet hatayı tespit edip doğrulamak için ise 2n+1 ilave kontrol bitine ihtiyaç duyulur.

K kadar bitten oluşan bir veri katarı kodlama sonucu n adet bitten oluşan (n,k)'lık blok kodlu bir veri katarına dönüşür. Burada (k/n) oranı kod oranını ya da kod verimliliğini ifade ederken (1- k/n) ise yedek bit sayısını ifade eder. Şekil 5.1'te blok kodlayıcı görülmektedir.



Şekil 5.1. Blok kodlayıcı

Hamming Kodunda bir 11 bitlik blok, 7 adet veri biti içerir. Buna (11,7) blok kodu denilir. Hamming Kodunun kod verimi 7/11 olup 4 adet yedek bit bulunur. 1001101'den oluşan 7 bitlik veri hamming koduna tabi tutulduktan sonra 100x110x1xx şekline dönüşür. Bu veri katarındaki x'ler kontrol bitlerini ifade etmektedir. Kontrol bitleri mesajda 1 olan bit pozisyonlarının modül 2 (XOR) toplamı sonucu belirlenir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Kodlanmış Hamming verisi

Bit pozisyonu	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Veri içeriği	1	0	0	x	1	1	0	x	1	x	x

11 = 1 0 1 1
7 = 0 1 1 1
6 = 0 1 1 0
\+ 3 = 0 0 1 1

= 1 0 0 1

Algoritma tarafından 1001 olarak bulunan kontrol bitlerinin de veri katarına eklenmesi ile veri katarı 10011100101 şekline dönüşür. Alıcı kısın ise kendine ulaşan bütün 1 değeri olan bitleri pozisyonlarının toplamını gerçekleştirir ve sonucun 0 çıkması durumunda mesajda herhangi bir hata oluşmadığı kararını verir.

11 = 1 0 1 1
8 = 1 0 0 0
7 = 0 1 1 1
6 = 0 1 1 0
3 = 0 0 1 1
\+ 1 = 0 0 0 1

= 0 0 0 0 iletimde hata meydana gelmemiştir

Sözgelimi oluşturulan veri katarının iletimi sırasında bir bozulma oldu ve 11.bit 0 olarak alıcı tarafta algılandı. Bu durumda alıcının yapmış olduğu modül 2 toplama sonucunda hatalı olan bitin pozisyonu ortaya çıkacak ve alıcı hatayı düzeltecektir.

8 = 1 0 0 0
7 = 0 1 1 1
6 = 0 1 1 0
3 = 0 0 1 1
\+ 1 = 0 0 0 1

= 1 0 1 1 olarak 11. bit hatalıdır (1011 ondalık 11'e tekabül eder)

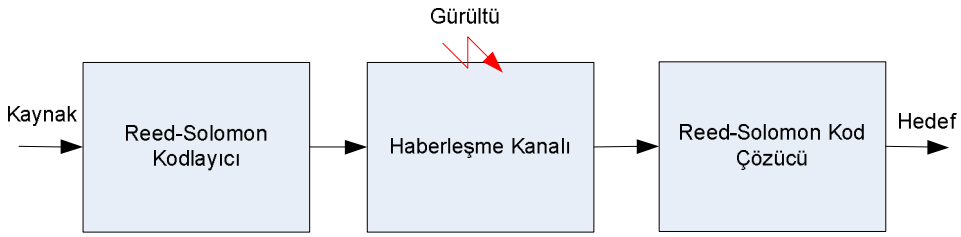
Hamming kodu oluşan bir adet hatanın yerini belirleyip düzeltebilmekte ve oluşan iki adet hatayı tespit edebilmektedir.

5.3.1. Reed Solomon kodu

Blok kodlama tabanlı çalışan Reed-Solomon kodu dijital haberleşme (DVB, ADSL, xDSL vb.) ve veri saklama (CD, DVD, manyetik şeritler vb.) alanlarında yoğun olarak kullanılır.

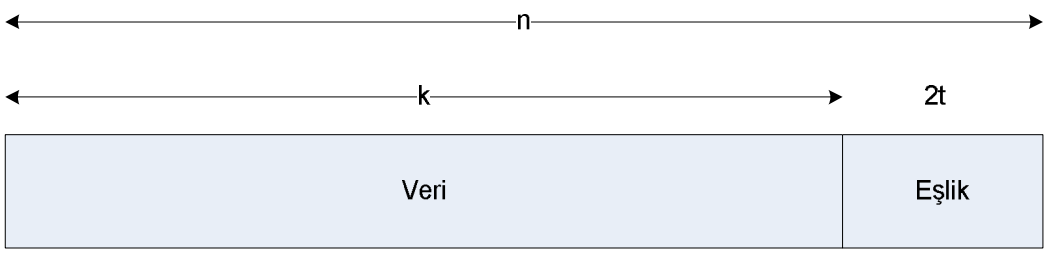
Tipik bir Reed-Solomon sisteminin mimarisi Şekil 5.2'de olup Reed-Solomon aslında BCH ve lineer blok kodlamanın bir alt çeşididir ve RS(n,k) olarak ifade edilir. Burada k kodlayıcıya giren veri miktarını ve n ise kodlayıcıdan çıkan toplam veri (code word) miktarını belirtir. Bir RS kod çözücü t kadar hatayı düzeltme kabiliyetine sahiptir.

$$2t = n - k \tag{5.1}$$



Şekil 5.2. Reed Solomon veri hattı

Şekil 5.3'te bir RS kod kelimesinin yapısı gösterilmektedir. Reed Solomon veri (data) kısmına hiçbir müdahale yapmazken veriye 2t uzunluğunda eşlik bitleri ekleyerek RS kod kelimesini oluşturur.



Şekil 5.3. Reed Solomon çatısı

En sık olarak kullanılan Reed Solomon kodlarından biri olan 8 bit sembollü RS(255,223) kodunda her kod kelimesi 255 bayttan oluşmaktadır. Bu 255 baytlık verinin 223 baytı veri iken 32 baytı eşlik bitlerine tekabül eder. Burada n = 255, k = 223, s = 8 ve t = 16 olarak bulunur.

Yukarıda bulunduğu üzere bu kod ile kod kelimesinin herhangi bir yerinde oluşan 16 adet bit hatası düzeltilebilir. Kod kelimesi n olan bir Reed Solomon kodunun sembol oranı n=2s-1 ile bulunur. Örneğin 8 bit sembollük bir kod ile maksimum 255 bytelık bir kod kelimesi oluşturulabilir. Doğrulanabilecek hatalı bit sayısı t'nin artması ile hata doğrulaması artmakta fakat alıcı ekipmanın içinde daha güçlü bir hesaplama aracına ihtiyaç duyulur.

Bir sembol hatası, bir semboldeki en az bir bitin bozulmasıyla oluşur. Örneğin bir RS(255,223) kod kelimesindeki 16 sembol oranı doğrulanabilirken bu 16 ila 16x8=128 arasındaki bite tekabül eder. Dolayısıyla patlama hatalarını düzeltmede oldukça etkili bir yöntemdir.

Bir Reed Solomon kod kelimesinde hattan ve demodülatörden kaynaklanan bütün hataların ($2s + r < 2t$) 2t den küçük olması halinde kod çözücü bütün hataların yerini tespit eder ve hataları doğrular. Aksi takdirde kod çözücü hataları tespit eder ya da yanlış bir şekilde kod kelimesini çözer.

Bu tür kodlamalar ile iletişim hattından istenilen bit hata oranı (BER) çok daha düşük bir güç ile sağlanır. Buna kod kazancı (Coding Gain) ismi verilir.

Reed Solomon kodu matematik biliminde Galois Alanı ya da sonlu alanlar olarak bilinen özel bir konun pratiğe uygulanmasıdır. Burada sonlu bir bölgede yapılan aritmetik işlemlerin sonucunun da sonlu alan içinde olması özelliğine dayanır.

Reed Solomon kod kelimesi özel bir polinom tarafından üretilmektedir. Dolayısıyla geçerli tüm kod kelimeleri tam olarak üretici polinoma bölünebilmelidir. Söz konusu polinomun en genel formu RS(255,249) için aşağıdaki gibidir.

g(x)=(x-ai) (x-ai+1)…(x-ai+2t) (5.2)

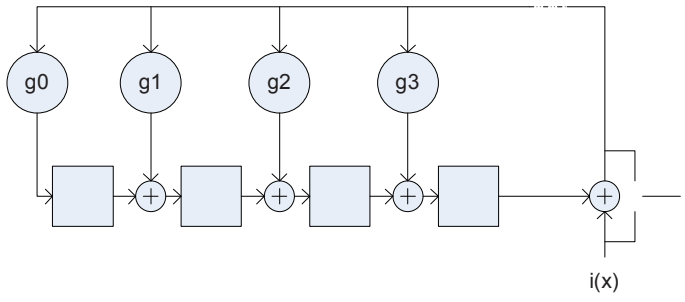
g(x)=(x-a0) (x-a1) (x-a2) (x-a3) (x-a4) (x-a5) (x-a6) (5.3)

g(x)=x6+g5x5+g4x4+g3x3+g2x2+g1x1+g0 (5.4)

Kod kelimesi c(x)=g(x). i(x) olarak ortaya çıkar. Burada g(x) üretici fonksiyonu ifade ederken i(x) bilgi bloğu ve c(x) de geçerli kod kelimesini ifade eder. Kod kelimesinin oluşturulması aşamasında bilgi bitlerine eklenen eşlik bitleri ise aşağıdaki şekilde bulunur.

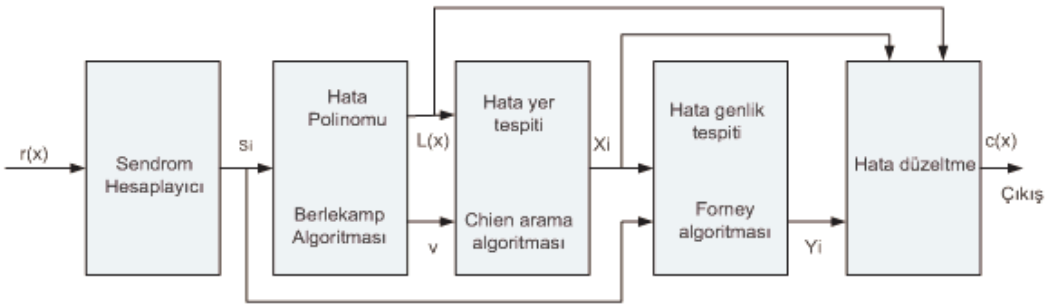
$$p(x) = i(x) \cdot x^{n-k} \bmod g(x) \tag{5.5}$$

Dolayısıyla bu ifadeden kodlayıcı sistem mimarisi aşağıdaki şekil 5.4'deki gibi elde edilir.



Şekil 5.4. RS kodlayıcı mimarisi

Tipik bir Reed Solomon kod çözücünün mimarisi aşağıdaki gibi olup burada alınan veriler [r(x)=c(x)+e(x)] orijinal kod kelimesinin yanı sıra hata bitlerini de içerir.



Şekil 5.5. RS kod çözücü mimarisi

Şekil 5.5'deki RS kod çözücü mimarisinde;

r(x): Alınan Kod Kelimesi

S_i: Sendrom

L(x): Hata Yer Tespit Polinomu

X_i: Hata Yeri

Y_i: Hata Genliği

c(x): Düzeltilen Kod Kelimesi

v: Hata Sayısı olarak ifade edilirler.

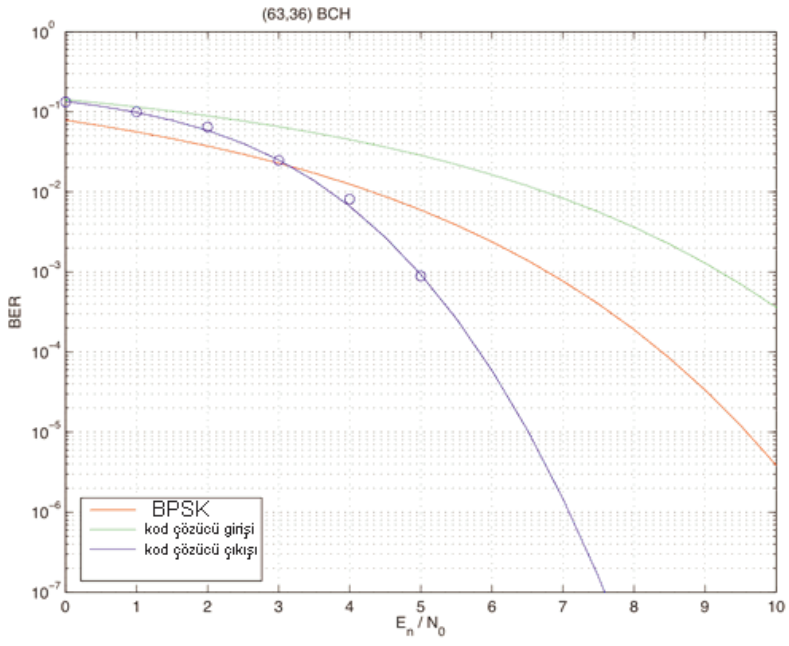
Kod çözücü kabaca iki kısımdan oluşur. İlk kısım hatanın yerini tespit ederken ikinci kısım yerleri tespit edilen hataların doğrulamasını yapar. Hata yerlerinin tespitinde ilk önce Berlekamp-Massey algoritması ya da Euclid algoritması kullanılarak bir hata yer tespit polinomu bulunur. Daha sonra bu polinomun kökleri Chien Arama Algoritması ile elde edilir. Böylece yerleri tespit edilmiş hatalar çok bilinmeyenli eşzamanlı fonksiyonların çözülmesinde kullanılan Forney algoritması ile hatalar düzeltilir.

5.3.2. BCH kodu (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Code)

BCH kodu Hocquenghem'in 1959'daki çalışmaları ve Bose, Chaudhuri'nin 1960'daki çalışmaları sonrasında ortaya çıkmıştır. Hamming Kodunun genelleştirilmiş bir formudur. BCH kod kelimeleri bilgi bitlerinin üretici polinoma bölünmesinden kalanın alınmasıyla oluşturulur. Böylece bütün kod kelimelerinin üretici fonksiyona bölünebilirliği sağlanmış olur. BCH Kodu için;
Blok uzunluğu: $n=2m-1$
Eşlik Kontrol Bitleri: $n-k \leq mt$
Minimum uzaklık: $d \geq 2t+1$ olarak verilmektedir.

BCH kodunda üretici polinom olan GF(2^m)'nin esas elemanı olarak α seçildiğinde üretici polinomun kökleri $\alpha\ \alpha^2\ \alpha^3 \ldots\ldots\ \alpha^{2t}$ olur. Kod kelimesinin uzunluğu 2^m-1 ve doğrulanabilir hata sayısı t dir.

Şekil 5.6'da (63,36) BCH kodunu kullanan bir sistemin BER vs Eb/No performansı gösterilmektedir.



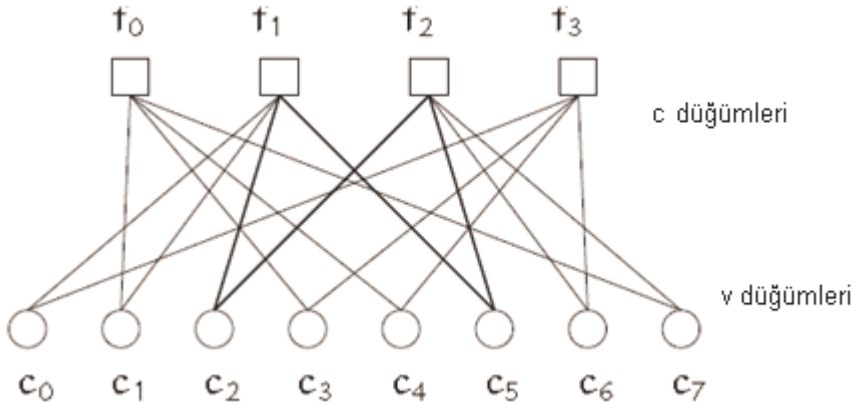
Şekil 5.6. BCH kodu BER Eb/No karakteristiği

5.3.3. LDPC kodu (Low Density Parity Check)

LDPC lineer blok kod olup 1960 ta Gallager tarafından bulunmuş ve günümüzde hücresel telefon sistemlerinden uydu haberleşme (DVB-S2) sistemlerine kadar birçok haberleşme sisteminde standart hale gelmiştir.

LDPC kodu Eş. 5.6'teki matrisle veya grafiksel olarak Şekil 5.7'daki gibi ifade edilebilir.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{5.6}$$



Şekil 5.7. LDPC grafik gösterimi

Örneğin c=[1 0 0 1 0 1 0 1] olan bir kod kelimesinin alıcıya c1 bitinin bozulmasıyla 1 olarak iletildiğini farz edelim. İlk adımda v düğümlerindeki her ci, c düğümlerine değerlerini bildirir (ci → fj). Örneğin c0 hem f1 düğümüne hem de f3 düğümüne 1 bilgisi iletmektedir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Düğümler arası geçiş

C Düğümü	Alınan / Gönderilen				
f_0	Alınan:	$c_1 \rightarrow 1$	$c_3 \rightarrow 1$	$c_4 \rightarrow 1$	$c_7 \rightarrow 1$
	Gönderilen:	$0 \rightarrow c_1$	$0 \rightarrow c_3$	$1 \rightarrow c_4$	$0 \rightarrow c_7$
f_1	Alınan:	$c_0 \rightarrow 1$	$c_1 \rightarrow 1$	$c_2 \rightarrow 0$	$c_5 \rightarrow 1$
	Gönderilen:	$0 \rightarrow c_0$	$0 \rightarrow c_1$	$1 \rightarrow c_2$	$0 \rightarrow c_5$
f_2	Alınan:	$c_2 \rightarrow 0$	$c_5 \rightarrow 1$	$c_6 \rightarrow 0$	$c_7 \rightarrow 1$
	Gönderilen:	$0 \rightarrow c_2$	$1 \rightarrow c_5$	$0 \rightarrow c_6$	$1 \rightarrow c_7$
f_3	Alınan:	$c_0 \rightarrow 1$	$c_3 \rightarrow 1$	$c_4 \rightarrow 0$	$c_6 \rightarrow 0$
	Gönderilen:	$1 \rightarrow c_0$	$1 \rightarrow c_3$	$0 \rightarrow c_4$	$0 \rightarrow c_6$

İkinci adımda f_j kontrol düğümleri kendileriyle ilintili dört c_i düğümlerine hesapladığı değerleri iletir. Daha sonra c_i düğümlerine değerlerin gelmesiyle orijinal değerlere karar verilerek hatalar düzeltilir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Düğümler arası geçiş

C Düğümü	Alınan / Gönderilen				
f_0	Alınan:	$c_1 \rightarrow 1$	$c_3 \rightarrow 1$	$c_4 \rightarrow 1$	$c_7 \rightarrow 1$
	Gönderilen:	$0 \rightarrow c_1$	$0 \rightarrow c_3$	$1 \rightarrow c_4$	$0 \rightarrow c_7$
f_1	Alınan:	$c_0 \rightarrow 1$	$c_1 \rightarrow 1$	$c_2 \rightarrow 0$	$c_5 \rightarrow 1$
	Gönderilen:	$0 \rightarrow c_0$	$0 \rightarrow c_1$	$1 \rightarrow c_2$	$0 \rightarrow c_5$
f_2	Alınan:	$c_2 \rightarrow 0$	$c_5 \rightarrow 1$	$c_6 \rightarrow 0$	$c_7 \rightarrow 1$
	Gönderilen:	$0 \rightarrow c_2$	$1 \rightarrow c_5$	$0 \rightarrow c_6$	$1 \rightarrow c_7$
f_3	Alınan:	$c_0 \rightarrow 1$	$c_3 \rightarrow 1$	$c_4 \rightarrow 0$	$c_6 \rightarrow 0$
	Gönderilen:	$1 \rightarrow c_0$	$1 \rightarrow c_3$	$0 \rightarrow c_4$	$0 \rightarrow c_6$

5.3.4. TPC (Turbo Product Code)

TPC kodu küçük blok kodlu kod kelimelerinden oluşmuş büyük bir bloktan oluşur. Örnek olarak (16,11)'lik Hamming Kodunda 11 bitten oluşan bilgi bitlerine 5 adet eşilik bitlerinin eklenmesiyle 16 bitlik bir kod kelimesi oluşturulur. Örneğin I'ların bilgi bitlerini ve P'lerinde eşlik bitlerini ifade ettiği aşağıdaki (16,11)'lik Hamming kod kelimesinin çift boyutlu düşünülmesi ile (256,121)'lik bir TPC kod kelimesi elde edilir.

I I I I I I I I I I P P P P P

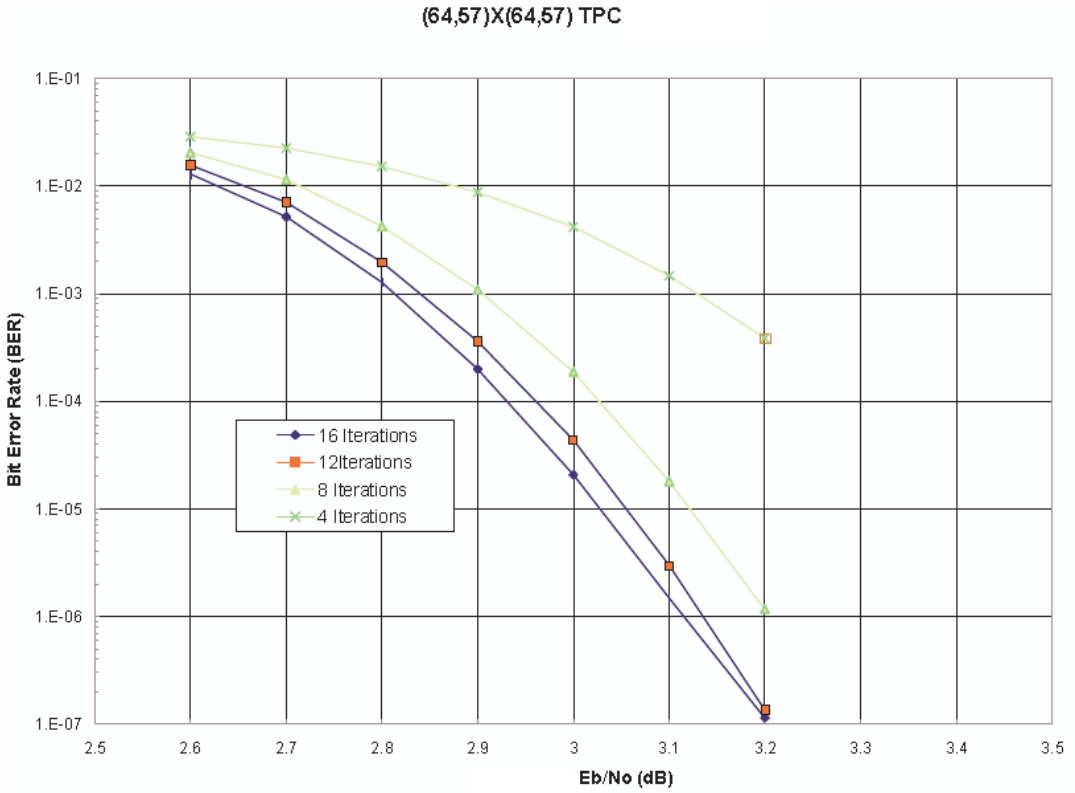
Çizelge 5.4. TPC kod kelimesi

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	PH	PH	PH	PH	PH
PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PVH	PVH	PVH	PVH	PVH
PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PVH	PVH	PVH	PVH	PVH
PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PVH	PVH	PVH	PVH	PVH
PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PVH	PVH	PVH	PVH	PVH
PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PV	PVH	PVH	PVH	PVH	PVH

(256,121)'lik TPC kod kelimesinde belirtilen PH yatay eşlik bitlerini, PV dikey eşlik bitlerini ve PVH ise eşlik bitlerinin eşlik bitlerini belirtir (Çizelge 5.4). Burada PVH=PHV dir. TPC'da yatay ve dikey bloklar aynı boyutta olabileceği gibi farklı bloklardan da oluşabilir. Örneğin (16,11) yatay kodlama ve (24,12) dikey kodlama ile (384,132)'lik bir kod kelimesi elde edilebilir.

Kod kelimesinin çözülmesi aşamasında ise kod çözücü ilk önce kod kelimesini tek boyutta çözdükten sonra ikinci boyuta geçer ve işlemleri tekrarlayarak meydana gelebilecek hata olasılığını uygun değerde tutar.

Şekil 5.8'de kod çözücü algoritmanın tekrarlanma sayısına göre sistemin verimi gösterilmektedir. Buna göre algoritmanın 16 kez tekrarlanması ile 12, 8 veya 4 kez tekrarlanması sonucunda ciddi performans farklılıkları çıkabilmektedir.



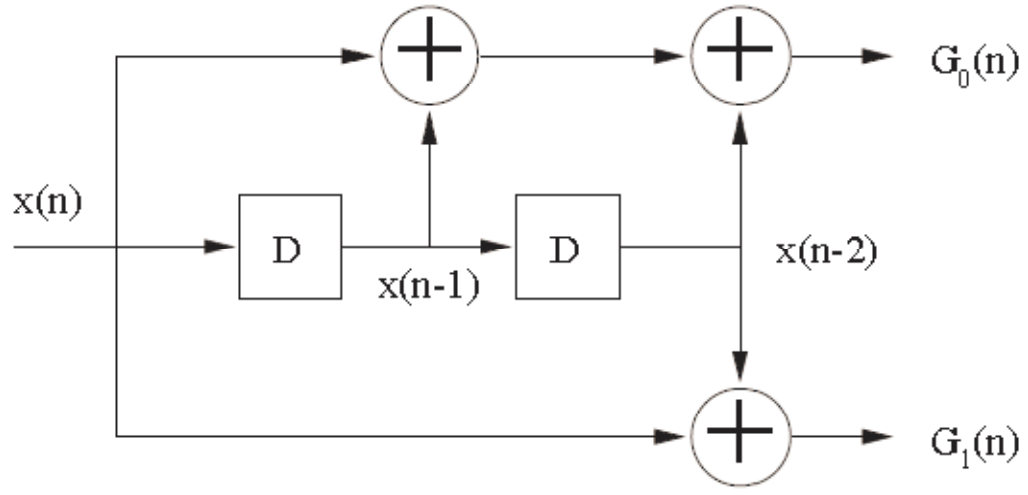
Şekil 5.8. TPC BER, Eb/No performansı

5.3.5. Viterbi katlamalı kodu (Convolutional Codes (Viterbi))

Blok kodlar bir hafıza kullanmayıp sadece gelen k bitlik mesaj bloğunu kodlanır. Fakat katlamalı kodlama tekniklerinde hafıza ihtiyacı olup bu kapsamda genellikle kaydırmalı kaydediciler (shift register) kullanılır.

Bir katlamalı kodlayıcı Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Bu kodlayıcıda 3 bitlik kaydırmalı kaydedici ve iki adet XOR kapısı (modül 2 toplayıcı) kullanılır. Kaydediciye giren her bir bit için O1, O2 olmak üzere iki adet bit iletim hattına verilmektedir. Böylece 1/2(k/n) kod oranına sahip bir katlamalı kodlayıcı oluşturulur.

Viterbi algoritması katlamalı kodlayıcılar tarafından kodlanmış verileri çözmek için kullanılır. Aşağıda verilmiş olan katlamalı kodlayıcı ½ kod oranında ve iki adet geciktirme donanımı vardır. k adet geciktirme elemanına haiz bir sistemde 2k durumu mevcuttur.

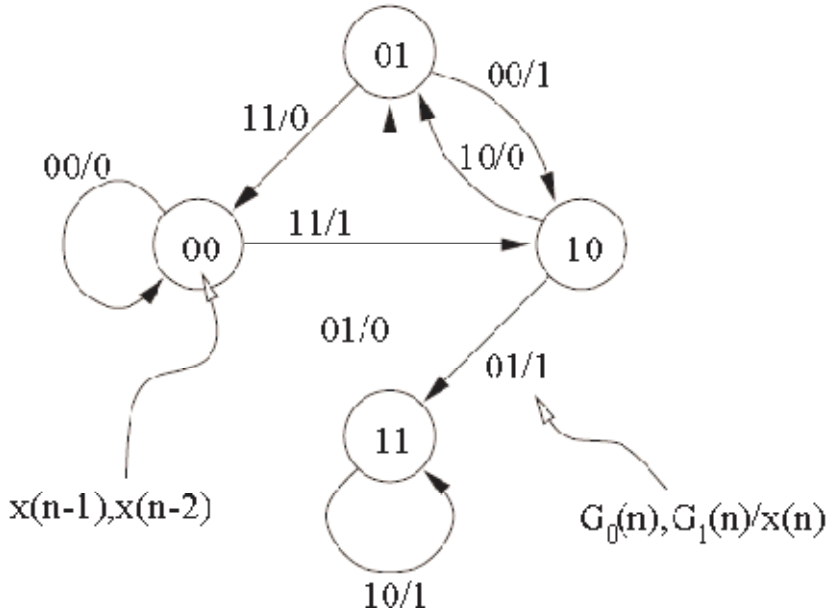


Şekil 5.9. 1/2 Katlamalı kodlayıcı

Şekil 5.9'daki blok diyagram Eş. 5.7 ve Eş 5.8 ile ifade edilebilir (Şekil 5.10).

$$G0(n) = x(n)+x(n-1)+x(n-2) \quad (5.7)$$

$$G1(n) = x(n) + x(n-2) \quad (5.8)$$



Şekil 5.10. Katlamalı kod için grafiksel gösterimidir

Viterbi kod çözme algoritması

Viterbi kod çözme algoritması 1967 de Viterbi tarafından bulunmuş ve geliştirilmiştir. Viterbi algoritması temelde maksimum olasılık kod çözümüne dayanır. Viterbi algoritması trellis kodunun özel yapısını kullanarak hesaplamadan kaynaklanan yükü hafifletir. Viterbi algoritmasının diğer bir önemi ise karmaşıklığın kod kelimesindeki sembol sayısının fonksiyonu olmamasından gelir.

Algoritma benzerlikleri hesaplar veya ti anında gelen mesaj ile ti zamanındaki Trellis durumu arasındaki uzaklığı hesaplar.

Algoritma olası maksimum seçeneklere tekabül etmeyen Trellis yollarını ortadan kaldırır. İki yol aynı duruma geçtiği takdirde en iyi metriğe sahip olanı seçer. İki yolun aynı duruma geçtiği zaman algoritma en iyi metriğe sahip olanı seçer ve bu seçim devam eden yol (Surviving Path) olarak adlandırılır.

5.4. Hata Tespit Kodları

Geri beslemeli hata kontrolü tekniğinde bir takım ilave bilgiler veri katarına eklenir, fakat bu veriler ancak veri katarında hatanın olup olmadığını belirlemeye yetecek kadardır. Alıcı herhangi bir hata bulduğu takdirde verinin tekrar gönderilmesi söz konusudur. Geri beslemeli hata kontrolü hata tespiti ve gerekli olan yeniden veri gönderme algoritmaları olmak üzere başlıca aşağıdaki iki farklı başlık altında incelenebilir.

Veri katarındaki hatalar ya rastgele tek bit hatası ya da ardı ardına gelen bir grup bitlerin bozulmasıyla oluşur. Bit hataları bir iletim hattında genel olarak BER (bit error rate) olarak ifade edilen bir olasılık ile ifade edilerek hesaplanır. BER ifadesinin 10^{-3}'e eşit olması söz konusu iletim hattında her bin bitten 1 bitin hatalı olduğunu ifade eder.

Hata tespiti için kullanılan başlıca üç yöntem mevcuttur. Bunlar eşlik (parity), blok toplamı incelemesi (block sum check) ve dönüşsel artıklık denetimidir (cyclic redundancy check).

5.4.1. Eşlik (Parity)

Yaygın olarak asenkron ve karakter tabanlı senkron iletim ortamlarında hata tespitinde kullanılır. Bu yöntemde verici donanım her bir karakterin oluşturduğu bit katarındaki 1 veya 0 sayısına göre katara bir eşlenik biti ekler. Böylece alış donanımı veri katarını aldığı zaman eşlenik biti ile veri katarının içeriğinin uyuşup uyuşmadığını kontrol ederek hata tespitinde bulunur. Eşlik yöntemi veri katarındaki 1 ve 0'ların sayılarını değerlendirmeleri bakımından tekil (odd), çift (even) olmak üzere farklı iki yöntem kullanır (Çizelge 5.5). Veri katarındaki 1'lerin sayısının tek olması durumunda tekil eşlenik yönteminde eşlenik biti 1 olarak atanır. Eşlik hata tespit yöntemi ile hatanın iki bitte olması durumunda çalışmaz.

Çizelge 5.5. TPC eşlik hata tespit yöntemi

7 BİTLİK VERİ KATARI	Eşlik Biti İle Veri Katarı	
	Çift	Tek
0000000	10000000	01010001
1010001	11010001	01010001
1101001	01101001	11101001
1111111	11111111	01111111

5.4.2. Blok toplamı denetimi (Block Sum Check)

Bitlerden oluşan bloğun (karakterlerin) iletilmesi esnasında karakter bilgisi içinde bir hata olma olasılığı yükselir ve bir bitin bozulması o bloğun anlamsız hale gelmesine sebep olur. Bu durum blok hata oranı olarak adlandırılır. Blok toplamı denetimi yöntemiyle bir bloğu oluşturan sekiz bitlik baytların (byte) aynı seviyedeki bitlerin XOR kapısından geçirilmesiyle oluşur. Baytların aynı seviyedeki bitleri bir kolon oluşturacağından her bir kolondaki 1 ve 0'ların XOR kapısından geçmesiyle ilave bir bayt oluşacaktır.

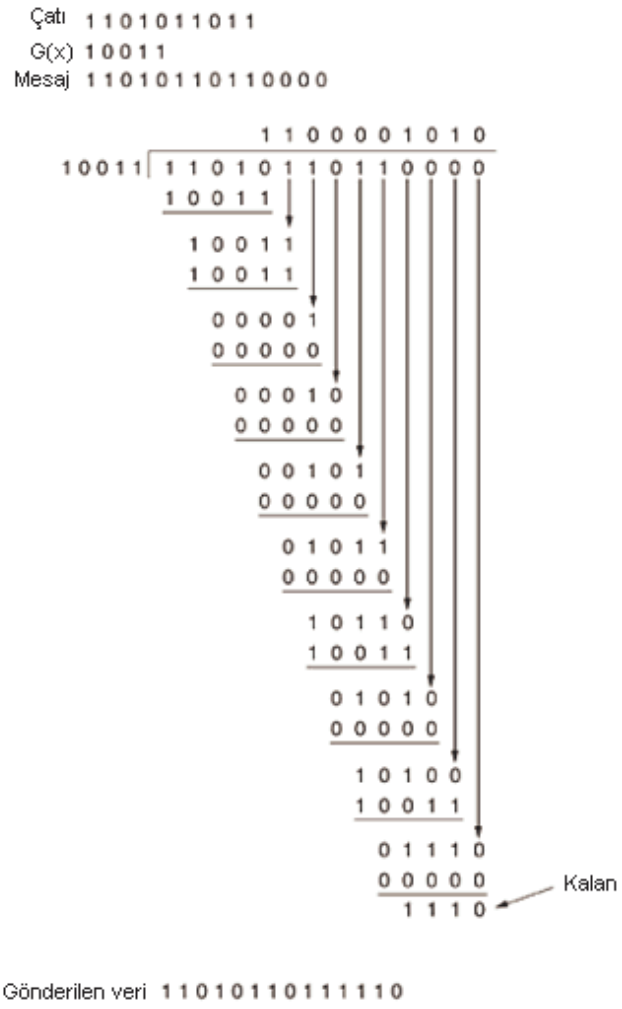
5.4.3. Dönüşsel artıklık denetimi (Cyclic Redundancy Check)

Bundan önceki iki hata tespit yöntemi bir veri katarı içindeki hatayı bulma konusunda verimli olsa da zincirleme hataların (burst error) tespiti için verimli değillerdir. Zincirleme hataların tespiti için polinomsal bir takım kodlama yöntemleri kullanılır.

CRC yöntemi veri katarlarını 16'lık veya 32'lik bloklara böler ve her bloğun arkasına yapılan işlemler sonunda ortaya çıkan CRC bitlerini ekler. CRC yönteminde ilk önce alıcı ve verici taraflar bir G(x) polinomu belirlemelidir. G(x) polinomunun ilk ve son bitleri 1 olmak zorundadır. Ayrıca hata denetimine tabi tutulacak olan M(x) polinomunun boyutu G(x) polinomunun boyutundan büyük

olmalıdır. Veri taraf M(x) bilgisini alıcıya gönderirken M(x) polinomunun G(x) polinomuna bölümünden kalanı bilgi katarının arkasına ekler. Bilgi alıcı tarafa iletildiğinde alınan mesajın G(x) polinomuna bölümünden kalanın sıfır olması gerekmektedir aksi takdirde bilgide birtakım bozulmalar oluşmuştur.

Alıcı taraftaki sağlama toplamı algoritması Şekil 5.11'de gösterildiği gibi; r uzunluğundaki G(x) polinomu r uzunluğunda olup, m uzunluğundaki bilgi katarına r adet 0 eklenir ve bilgi katarı xr M(x) polinomuna karşılık gelir. xr M(x) polinomu G(x) polinomuna Boolean cebrine (XOR) uygun olarak bölünür. Kalan xr M(x) polinomundan Boolean cebrine uygun olarak çıkarılır ve oluşan bilgi katarı iletilir.



Şekil 5.11. CRC kodlaması

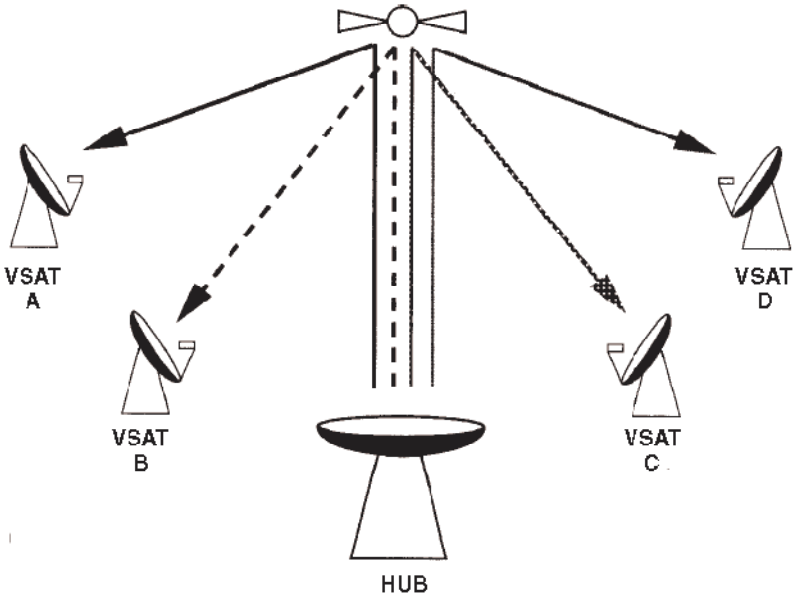
Böylece gönderilen bilgi G(x)'e bölünebilir hale getirilmiş olur. Fakat CRC yöntemiyle yüzde yüz bütün hataları tespit etmek mümkün değildir. E(x) polinomunun hata verilerini ifade etmek üzere M(x)+E(x) (hatalı bilgi) polinomunun G(x) polinomuna tam olarak bölünebilme ihtimali az ama mevcuttur. TCP/IP protokolünde CRC–32 hata tespit yöntemi kullanılır.

6. VSAT (VERY SMALL APERTURE TERMINAL)

1960 yılında yörüngeye yerleştirilen ilk haberleşme uydusunun ardından haberleşme teknolojisinin sürekli olarak ilerlemesi ile yer istasyonlarında bir küçülme trendi yakalanmış ve 1970'li yıllarda ilk VSAT sistemleri ortaya çıkmıştır [19]. VSAT sistemleri ilk çıktığı zamanlarda ses ve 64 Kbps'lik düşük hızlarda veri iletimine imkân sağlarken günümüzde internet teknolojisinin yaygınlaşması ile IP temelli, çift yönlü geniş bant veri, ses iletimi sağlamaktadır.

6.2. Sistem Mimarisi

Çok küçük açıklıklı anten anlamına gelen VSAT terimi adını hizmetin verildiği küçük çaplı antenlerden almaktadır. Küçük istasyonlardan oluşan kullanıcı bölgeleri HUB (birleştirici) olarak adlandırılan merkez yer istasyonundan hizmet almaktadırlar. HUB istasyonu daha büyük bir anten ve gelişmiş yer istasyonu donanımlarından oluşmakta olup kaynakların kullanımı ve trafik yönetimini sağlar (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. VSAT haberleşme topolojisi

VSAT terminalleri ile sağlanan haberleşme çift yönlü bir haberleşme olup bu sebeple VSAT antenlerinden de uyduya taşıyıcı çıkılması söz konusudur. VSAT terminallerden merkeze (hub) doğru olan bu taşıyıcıya/taşıyıcılara geri yönlü taşıyıcı (Return Link Carrier / Inbound Carrier / Upstream Carrier) ve merkezden VSAT terminallerine doğru olan taşıyıcıya da ileri yönlü taşıyıcı (Forward Link Carrier / Outbound Carrier / Downstream Carrier) ismi verilmektedir. Söz konusu ileri yönlü ve geri yönlü taşıyıcılar kullanılan sisteme göre TDM, TDMA, yaygın spektrum, CDMA gibi farklı formatlarda olabilir.

Günümüzde internet yoğunluklu olarak kullanılmakta olan VSAT sistemleri genel olarak yıldız topolojide çalışmakta olup birtakım sistemler de mesh topolojiyi desteklemektedir. Özellikle mesh topoloji sayesinde video konferans, VoIP (Voice over Internet Protocol) ve nispeten düşük kapasiteli veri aktarımlarında bant genişliğinden kazanç sağlanmaktadır. Ayrıca uydu gecikmesinin de düşmesi ile eş zamanlı uygulamalarda verimlilik ve servis kalitesi artmaktadır. Buna mukabil olarak VSAT terminallerinde nispeten daha güçlü anten ve veriş donanımlarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Ayrıca özellikle internet ve TCP tabanlı uygulamaların hızını ve performansını arttırmak için HUB istasyonlarında TCP hızlandırıcı, http ön yakalama (prefetch) gibi servisler sunulmakta olup mesh topolojilerde bu imkânlar kullanılamamaktadır.

6.3. VSAT İstasyon Donanımları

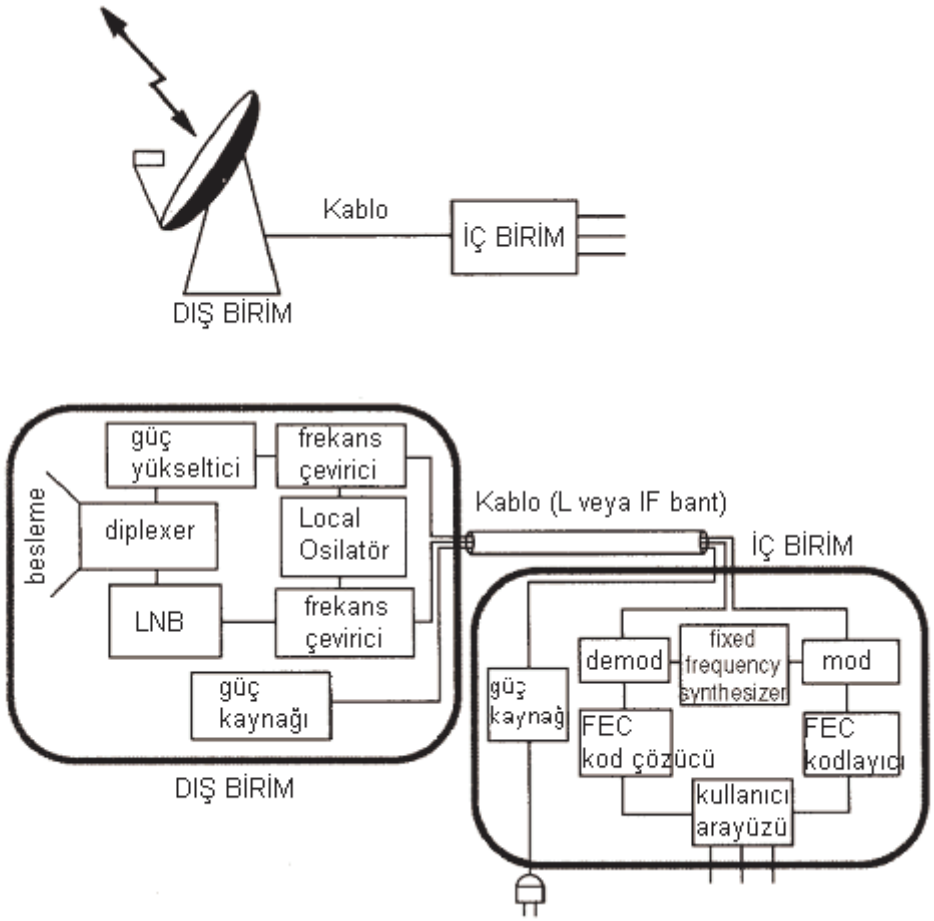
VSAT istasyonu temel olarak iç (indoor) ve dış (outdoor) ekipmanlardan meydana gelmektedir.

Dış ekipmanlar;

- Uydu sinyalini toplamakla ve gönderilen sinyali uyduya yöneltmekle görevli bir uydu anteni,

- Antenin toplamış olduğu elektromanyetik sinyalin gürültüsünü bastırıp esas sinyali kuvvetlendiren ve frekansını düşüren LNB,
- İç ekipmanın oluşturduğu ve uyduya gönderilmesi gereken sinyalin frekansını yükseltip kuvvetlendirerek elektromanyetik dalga formuna getiren BUC'dan (Block Up Converter) oluşur.

İç donanım ise VSAT modeminden oluşur. Modem alış zincirinde L veya IF frekans bandında gelen sinyali sırasıyla demodülasyon, hata kodunu çözme, şifre çözme, sıkıştırmayı açma ve trafiği yönetme işlemlerine tabii tutarak temel bant ara yüzünden bilgiyi iletir. Veriş aşamasında modem temel bant sinyalini sırasıyla sıkıştırır, şifreler ve daha sonra hata kodlamasına ve nihayetinde modülasyona tabii tutarak sinyali veriş RF ara yüzünden dış donanıma iletir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. VSAT terminal bileşenleri [18]

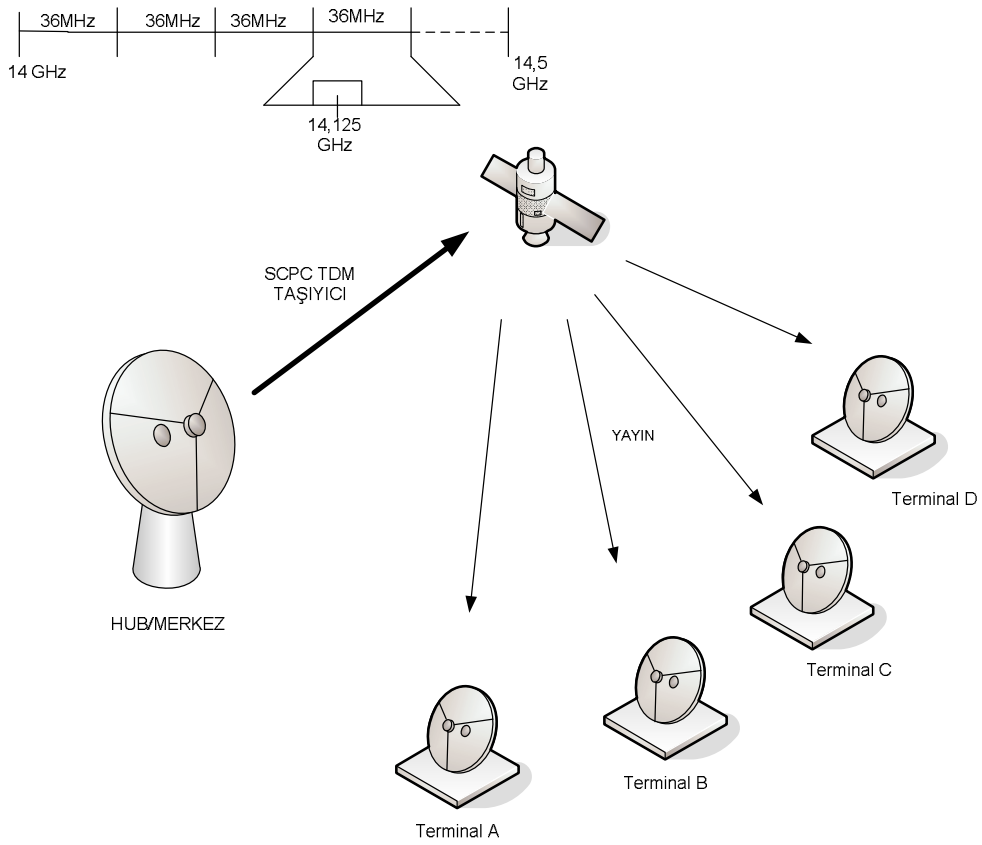
6.4. VSAT Hub İstasyonu

VSAT hub istasyonunun temel işlevi bant genişliği paylaşımını yaparak terminallerden gelen trafiğin yönetimini yapmaktır.

6.4.1. Temel hub istasyon işlevleri

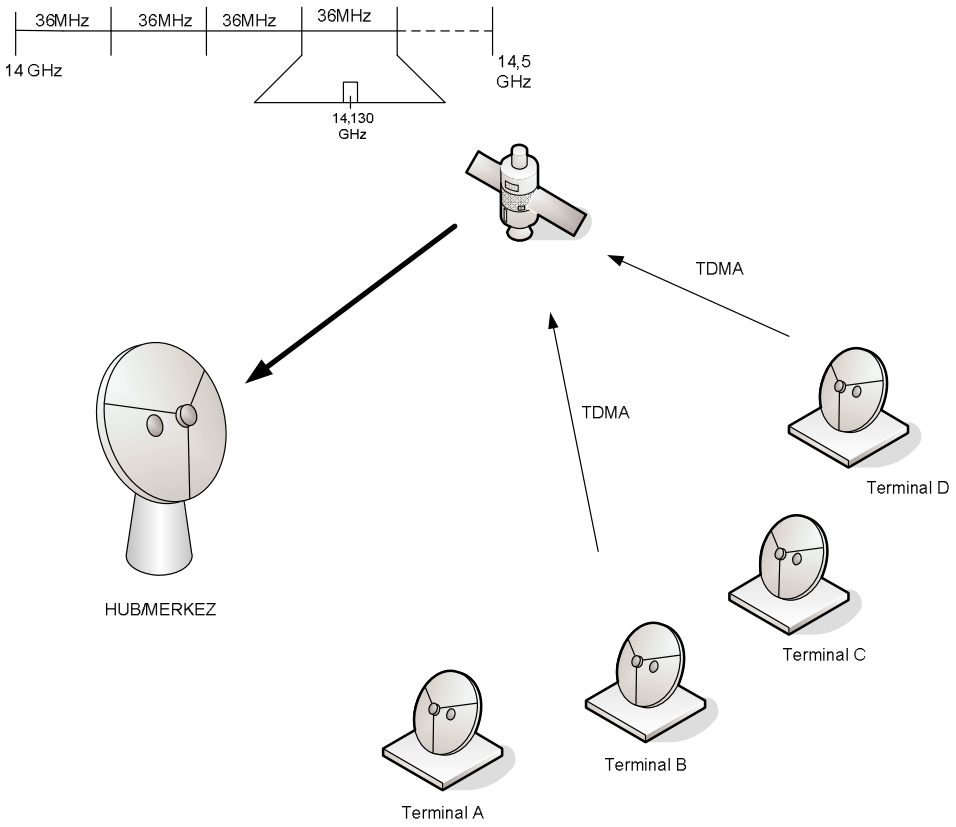
En temel hub istasyonu modülasyon ve demodülasyon işlemlerinin yanı sıra şebeke yönetimini, uydu ve temel bant trafik yönetimini yapmak durumundadır. VSAT sisteminin düşük maliyetler ile hizmet verme doğası gereği bant genişliği paylaşımlı bir uydu şebekesi üzerinden sağlanır. Merkez istasyon her bir terminalin sahip olduğu önceliklendirme ve servis tanımlarına göre kaynakların terminale aktarımını sağlar. Sistemin kalbini oluşturan bu süreç ile terminallerin ne kadar bant genişliği kullanacağı, hangi zaman diliminde hangi frekansı veya hangi kodu kullanacağı gibi kanal erişim tanımlamaları bu sistem ile sağlanır.

Hub merkezinden VSAT terminallerine doğru iletilen ileri yönlü taşıyıcı SCPC (Single Carrier Per Channel) bir taşıyıcı olup TDM (Time division Multiplex) çoğullaması ile terminallere veri iletir (Şekil 6.3). Bu verilerin büyük bir kısmı kullanıcı trafiği olmasına karşın söz konusu taşıyıcı aynı zamanda geri dönüş kanalında kullanılacak olan zaman dilimlerini terminallere bildirir ve bu zaman dilimlerinin terminallere atanmasını sağlar. Bu kaynak paylaşımı yayınının yanı sıra sistem bu taşıyıcı üzerinden terminallerin sinyal gürültü oranlarının ayarlamasını ve senkronizasyonu sağlar.



Şekil 6.3. İleri yönlü taşıyıcı

Dönüş kanalı taşıyıcısı/taşıyıcıları, VSAT terminalleri tarafından çıkılan taşıyıcılardır ve FDMA, CDMA veya TDMA çoklu erişim teknikleri kullanırlar (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Geri yönlü taşıyıcı

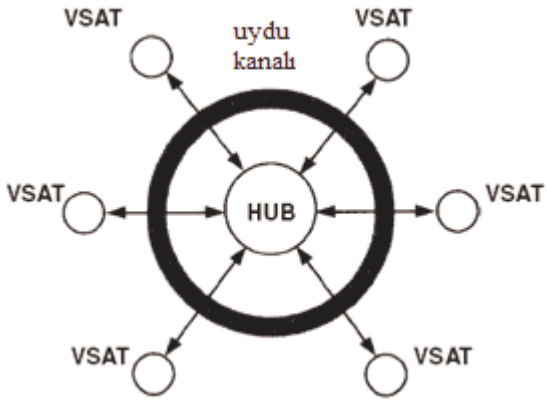
VSAT sistemlerinde bant genişliği tahsisi PAMA (Permanent Assignment Multiple Access) ve DAMA (Demand Assigned Multiple Access) olmak üzere iki farklı yaklaşım ile sağlanır PAMA yaklaşımı ile kaynak paylaşımı kalıcı olarak sağlanır. DAMA yaklaşımında ise kaynağın isteğe bağlı olarak atanması yapılmakta ve böylece uydu üzerinde bant genişliği tasarrufunda bulunulmaktadır. DAMA yönteminde her bir terminal isteklerini merkeze iletmek ve kapasite talep etmek durumundadır [19].

6.5. VSAT Sistemi Haberleşme Topolojileri

VSAT sistemlerinde yıldız topoloji, ağ (mesh) topoloji ve SCPC topolojileri kullanılır.

6.5.1. Yıldız topoloji ve çalışma prensibi

Star topolojide tüm trafik merkez (HUB) üzerinden gerçekleştirilir (Şekil 6.5). İki VSAT terminali arasında gerçekleşecek bir veri trafiği gönderen terminalden geri dönüş kanalı üzerinden merkeze iletilir ve merkez trafiği ileri yönlü taşıyıcı ile ilgili diğer terminale iletir. Bu sistem ile terminal – terminal haberleşmeleri arasında iki uydu atlaması (hop) meydana gelmekte ve bu durum hem bant genişliğinin iki kat fazla kullanılması hem de verinin yaklaşık 1,2 saniyelik gecikme ile hedefine ulaşması anlamına gelir. Dolayısı ile terminaller arası haberleşmenin yoğun olduğu şebekelerde yıldız topoloji kullanılması tercih edilmemektedir.



Şekil 6.5. Yıldız topoloji gösterimi [18]

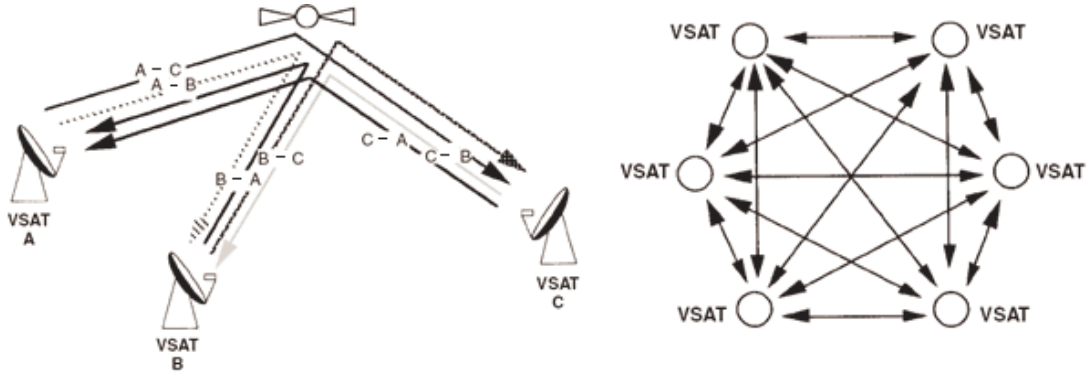
Fakat yıldız topoloji ile tüm VSAT terminallerinin sadece merkez ile uydu bağlantısı sağladıklarından dolayı terminal donanımları daha düşük maliyetli olmaktadır.

6.5.2. Ağ topoloji ve çalışma prensibi

Ağ topolojisini destekleyen yeni nesil VSAT sistemleri aynı zamanda yıldız topolojiyi de desteklerler. Bu sebeple terminal – terminal görüşmelerinin yoğun olduğu VoIP şebekelerinde tercih edilirler.

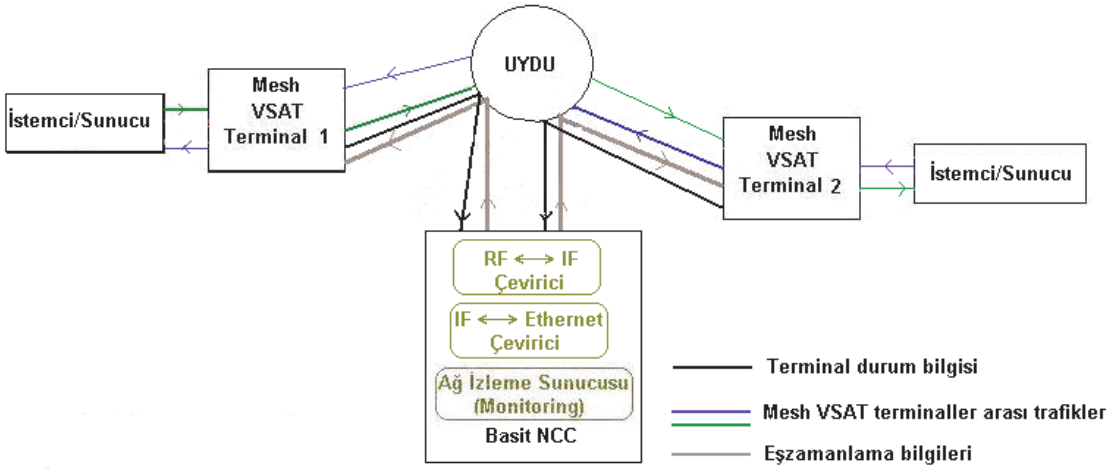
Ağ topolojideki VSAT sistemlerinde ileri yönlü taşıyıcı ve geri yönlü taşıyıcıların yanı sıra terminallerin bir biri ile direkt olarak haberleşmesini sağlayan üçüncü bir ağ topoloji taşıyıcısı mevcuttur (Şekil 6.6). Genellikle söz konusu bu ağ topoloji taşıyıcısı TDMA erişim tekniği ile farklı terminallerin zaman paylaşımlı olarak oluşturdukları bir taşıyıcıdır ve zaman paylaşımı yıldız topolojide olduğu gibi merkez tarafından yönetilir (Şekil 6.7). Buradaki bant genişliği tahsisi PAMA veya DAMA yöntemleri ile sağlanabilmekte olmasına rağmen DAMA yönteminin avantajları doğrultusunda çoğu kez PAMA yöntemi tercih edilmez.

Ağ topolojide çalışan bir şebekede bir, VSAT terminali diğer bir VSAT terminali ile veri transferinde bulunacağı zaman terminal talebini merkeze bildirir ve bu talep doğrultusunda ağ topoloji taşıyıcısında kullanılacak zaman dilimini her iki terminale bildirilerek haberleşme ortamı sağlanır.



Şekil 6.6. Ağ topoloji gösterimi [18]

Ağ topoloji daha önce bahsettiğimiz gibi daha çok VoIP trafiğinin olduğu şebekelerde tercih edilir. Böylece ses trafiğinin küçük paket boyutlarına sahip olması sebebiyle ağ topoloji taşıyıcısının bant genişliği düşürülerek yüksek maliyetli antenler ve verici BUC (Block Upconverter) donanımlarına ihtiyaç kalmaz. Fakat terminaller arasında yüksek bant genişliği ihtiyaçlarında VSAT anteni çapı ve verici donanım gücüde artar dolayısıyla maliyetler de yükselir.



Şekil 6.7. HUB kullanan ağ topoloji gösterimi

6.5.3. SCPC topoloji

SCPC (Single Carrier Per Channel) yani taşıyıcı başına kanal gerektiren sistemler olarak ifade edilirler. Bu yöntem ile noktadan noktaya bir bağlantı sağlamakta ve karşılıklı iki terminalin sabit bir frekans üzerinden paylaşımsız olarak hizmet almasını sağlarlar. Genel olarak tercih edilen bir yöntem olamamasına karşın sürekli olarak sabit bir veri hızına ihtiyaç duyan sistemlerde kullanılırlar. VSAT sistemlerinde kullanılan ileri yönlü taşıyıcıda sürekli olarak sabit sembol oranı ve sabit frekansta olmasından dolayı SCPC olarak nitelendirilir.

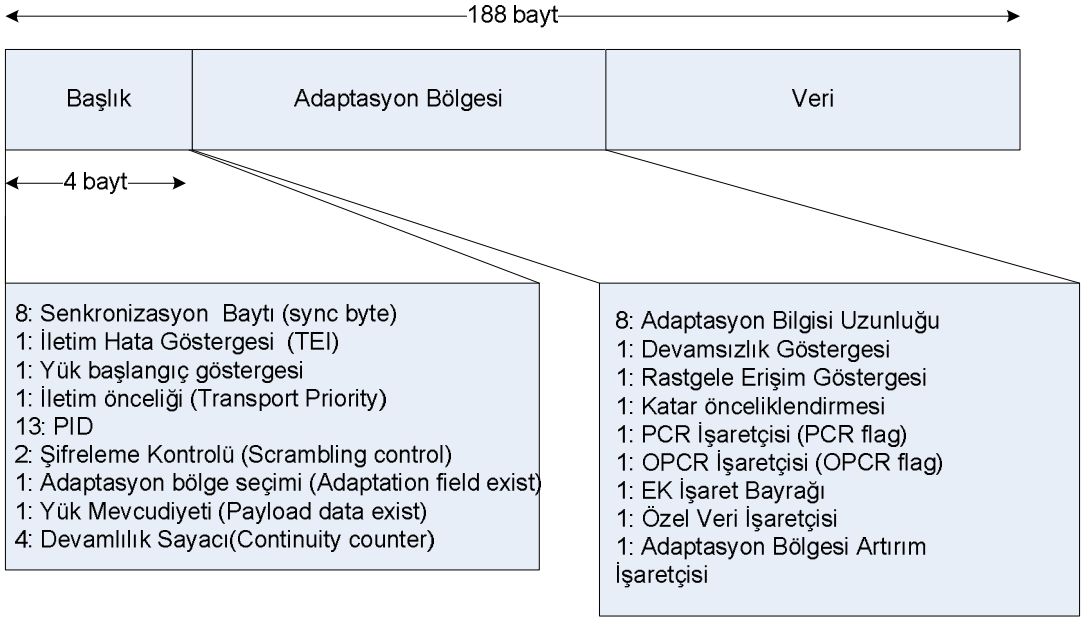
6.6. Sistem Standartları

6.6.1. DVB (Digital Video Broadcast)

DVB standardı 1993 yılında ortaya çıkmıştır. Esas olarak DVB görüntü ve ses sıkıştırma standardı olan MPEG (Moving Picture Experts Group) formatında yayın yapılmasını sağlar. Günümüzde MPEG formatının sağlamış olduğu sıkıştırma oranı ile DVB sadece TV yayını değil VSAT gibi veri aktarımının esas olduğu sistemlerde de kullanılır.

6.6.2. DVB-S (Digital Video Broadcast - Satellite)

DVB-S, MPEG–2 iletim formatına hata doğrulama kodu, modülasyon ve servis bilgisi özelliklerinin eklenmesi ile oluşur. Bir DVB çatısının temelinde olan her bir MPEG paketi 188 bayt uzunluğunda olup bunun 4 baytını başlık bitleri, 184 baytını ise yük (payload) oluşturur (Şekil 6.8). Bu söz konusu yük ya veri formatında ya da akıcı formatta olur.



Şekil 6.8. MPEG çatısı

Akıcı formattaki veri ya sadece ses, ya da sadece görüntü bilgisi aktarır. Başlık bitlerinde bulunan bit zaman etiketi sayesinde ses ve görüntünün alıcı tarafta senkronizasyonu sağlanır. Ayrıca başlıkta bulunan 13 bitlik PID (Program ID) bilgisi ile kullanıcının ilgilendiği programın filtrelenmesi gerçekleşir.

Veri formatında ise TCP/IP tabanlı bilgi iletilir. Bu formattaki 184 baytlık yükün 12 baytı verinin içeriğini tanımlamak için kullanılır. Bu ekstra başlık bitlerinin 6 baytı alıcının MAC adresini belirtmesi için ayrılmıştır.

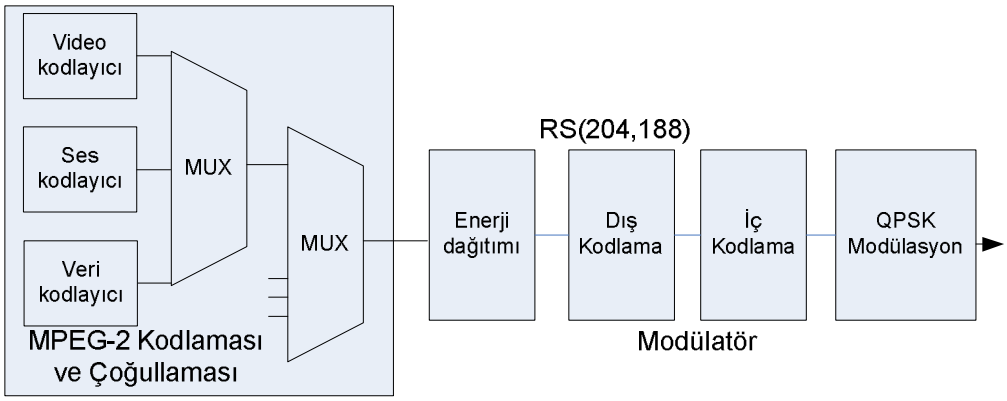
Çizelge 6.1. İletim katarı paket bileşenleri ve açıklamaları

İsim	Bit Sayısı	Açıklama
Senkronizasyon Baytı (sync byte)	8	0x47
İletim Hata Göstergesi (Transport Error Indicator) (TEI)	1	Veride doğrulanamayan hataların olması üzerine 1 olarak set edilir
Yük başlangıç göstergesi(Payload Unit Start Indicator)	1	PES (1) veya PSI (0) verisinin geleceğini ifade eder
İletim önceliği (Transport Priority)	1	Diğer paketlere nazaran önceliklendirme sağlanması (1)
PID	13	Paket ID
Şifreleme Kontrolü (Scrambling control)	2	Şifrelemenin kullanılıp kullanılmadığını belirtir
Adaptasyon büölge seçimi (Adaptation field exist)	1	1 ise adaptasyon bilgisi mevcuttur
Yük Mevcudiyeti (Payload data exist)	1	1 ise yük bilgisi mevcuttur
Devamlılık Sayacı(Continuity counter)	4	
Adaptasyon Bölgesi (Adaptation field)	Değişken	
Yük (Payload Data)	Değişken	

Çizelge 6.2. Adaptasyon bölgesi paket formatı

İsim	Bit Sayısı	Açıklama
Adaptasyon Bilgisi Uzunluğu (Adaptation Field Length)	8	Adaptasyon bilgisinin kaç baytlık uzunluğu olacağını belirtir
Devamsızlık Göstergesi (Discontinuity indicator)	1	Akışta herhangi bir devamsızlık olması durumunda kullanılır
Rastgele Erişim Göstergesi (Random Access indicator)	1	PES katarının video veya ses taşıması halinde senkronizasyon için kullanılır
Katar önceliklendirmesi (Elementary stream priority indicator)	1	
PCR İşaretçisi (PCR flag)	1	PCR bölgesinin var olup olmadığını belirtir
OPCR İşaretçisi (OPCR flag)	1	
EK İşaret Bayrağı (Splicing point flag)	1	Ek geri sayımının olduğunu belirtir
Özel Veri İşaretçisi (Transport private data flag)	1	Adaptasyon bölgesinde özel verilerin olduğunu belirtir
Adaptasyon Bölgesi Artırım İşaretçisi (Adaptation field extension flag)	1	Adaptasyon bölgesinde artış olduğunu belirtir
Aşağıdaki Bölümler Opsiyonel Olarak İşaretçiler Doğrultusunda Gelmektedir		
PCR	33+9	Program Referans Saati
OPCR	33+9	Orijinal program referans saatini belirtir. Bir iletim katarının diğerinin içine kopyalandığı zaman kullanılır
Ek Geri sayacı (Splice countdown)	8	Mevcut ek noktasından sonra kaç bayt iletim paketinin olduğunu belirtir
Dolgu baytları	Değişken	

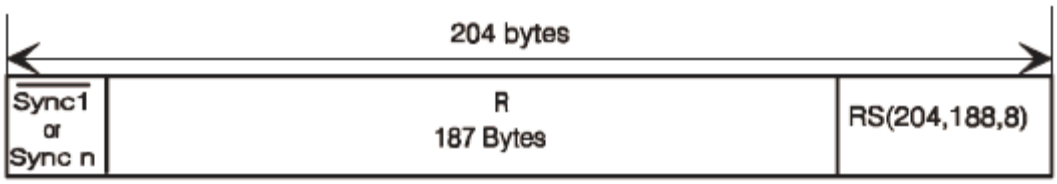
Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de belirtilen kodlamalar ve katar yapısı sonrasında oluşan MPEG-2 iletim formatı DVB-S modülatörüne girer. Burada sırasıyla enerji dağıtımı, dış kodlama, iç kodlamaya ve modülasyona tabii tutulur (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. DVB-S yayın süreci

İlk aşamada ITU Radyo regülasyonu gereği MPEG iletim katarı $1+X^{14}+X^{15}$ fonksiyonuna (Pseudo Random Binary Sequence) tabi tutularak enerji dağılımı sağlanır.

İkinci adımda veri katarı Reed Solomon RS(204,188) hata kodlama işlemine tabii tutularak Şekil 6.10'da yapılandırılmış bir veri katarına dönüşür.



Şekil 6.10. RS ile kodlanmış MPEG iletim katarı

Üçüncü aşamada veri katarı konvolüsyonel bir kodlayıcı tarafından kodlanarak daha iyi bir hata kodlama karakteristiğine sahip olur. DVB-S sisteminde konvolüsyonel kodlayıcı sistem, güç ve bant genişliği optimizasyonunu sağlamak için 1/2, 3/4, 2/3,

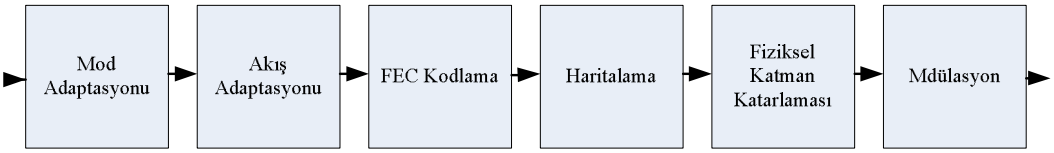
5/6, 7/8 ileri hata kodlama oranlarından biri seçilebilir (Çizelge 6.3). En son adımda da veri modülasyona tabii tutularak DVB-S formatlı taşıyıcı oluşturulmuş olur.

Çizelge 6.3. Farklı FEC oranları için DVB-S, Eb/No performansı [20]

Modülasyon, FEC Oranı (iner code rate)	Eb/No
QPSK 1/2	4,5
QPSK 2/3	5,0
QPSK 3/4	5,5
QPSK 5/6	6,0
QPSK 7/8	6,4

6.6.3. DVB-S2 DVB-S (Digital Video Broadcast – Satellite 2)

DVB-S2 DVB standardının geliştirilmesiyle 2003 yılında ortaya çıkmıştır. Getirdiği birçok yenilik ile DVB ye nazaran oldukça verimli bir bant genişliği kullanımı sunar. DVB-S2 formundaki bir taşıyıcı genel olarak Şekil 6.11'de bulunan işlemler sonrasında oluşur [21].

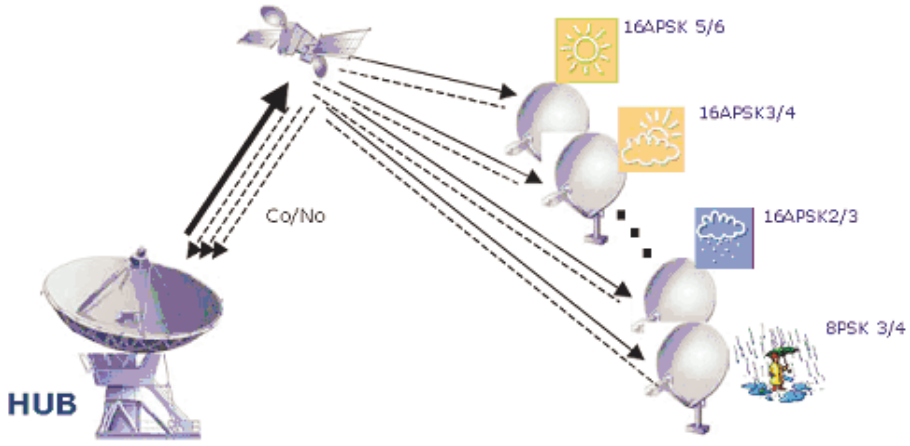


Şekil 6.11. DVB-S2 iletim katarı süreçleri

Adaptasyon bloğu (mode adaption) uygulamadan bağımsız olup giriş sinyali ile bir ara yüz oluşur. Ayrıca bu blok giriş veri katarı ile senkronizasyonu, DVB-S2'nin getirmiş olduğu ACM (Adaptive Code Modülation) kontrolünü ve CRC–8 hata kodlamasını sağlar [21].

İkinci blok olan akış adaptasyonu (Stream Adaption) bloğunda ise verinin şifrelenmesi sağlanır. Daha sonra ileri hata kodlama bloğunda işleme tabii tutulan veri katarı burada sırasıyla BCH, LDPC (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10) hata kodları ile kodlanır. Buradaki hata kodlaması, sistemin VCM veya ACM kullanmasına göre her bir veri katarında değişkenlik gösterebilir (Şekil 6.12). Haritalama (Mapping) bloğunda ise kullanılacak olan modülasyon tipine göre bit ikilemeleri yapılarak veri katarı modülasyona hazırlanır. Böylece modülasyon için hazırlanan veriye sinyalizasyon ve yönetim amaçlı bir takım ek verilerin de fiziksel katman katarlaması (PL Framing) bölümünün de eklenmesi sonucu veri modülasyona tabii tutulur [21].

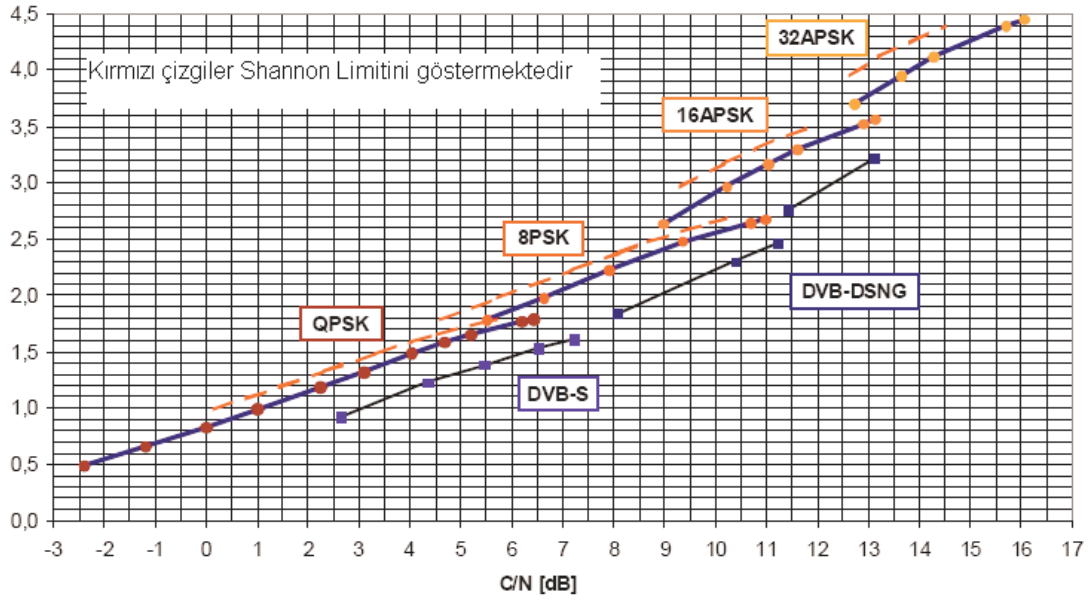
DVB-S2 ile gelen ACM özelliği sayesinde uydu hattındaki sinyal zayıflamaları ölçülmekte ve her bir katar ilgili alıcının durumuna göre farklı ileri hata kodlaması ile kodlanıp uygun bir modülasyon tipi ile modüle edilir. Böylece bir terminalin kesintisiz bir şekilde servis alması sağlanırken bunun yanında hava koşullarının müsait olduğu yerlerde daha yüksek modülasyon ve kodlama tekniklerinin kullanılmasıyla bant genişliğinin verimli bir şekilde kullanımı sağlanır.



Şekil 6.12. ACM

İkinci nesil DVB standardı ile ilk nesile oranla %30'luk bir performans artışı sağlanır ve Shannon limitine 0.7dB kadar yaklaşılır (Şekil 6.13). Ayrıca DVB-S2'nin

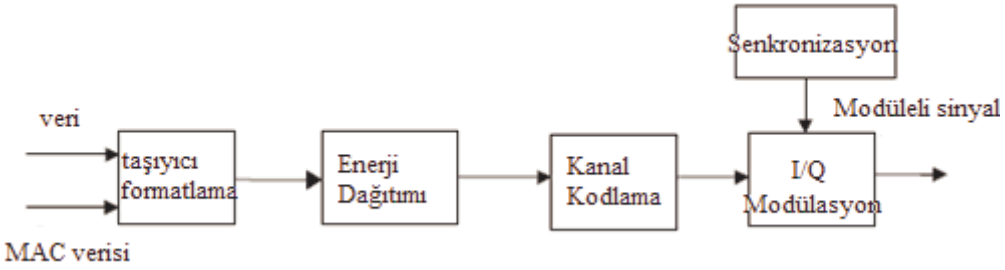
desteklediği MPEG–4 sıkıştırma oranı ve roll-off katsayısı α'nın 0.35'den 0.25 ve 0.20 değerlerine düşmesiyle de bant genişliği ihtiyacı oldukça düşürülür [21].



Şekil 6.13. DVB-S2'nin Shannon Limitine olan yakınlığı

6.6.4. DVB-RCS (Digital Video Broadcast – Return Channel Satellite)

DVB-RCS VSAT terminali fiziksel katmanda herhangi bir talebi Şekil 6.14'deki işlemler sonrasında gönderir.



Şekil 6.14. DVB-RCS süreci

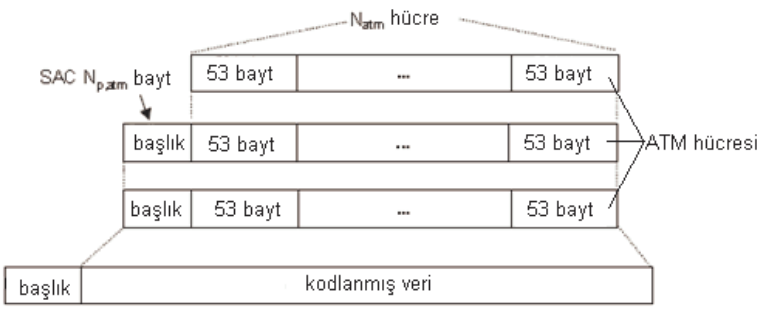
Terminalin veriş zincirinde erişim metodunun MF-TDMA (multi frequency time division access) olmasından dolayı zamanlama çok önemli bir yer tutar. Terminal ile

Hub istasyonu arasındaki bir senkronizasyon bozukluğu halinde terminal, tahsis yapılan bant genişliğini verimli kullanamaz. Bu bakımdan terminale senkronizasyon bilgisi MPEG formatlı ileri yönlü trafiğin içinde özel bir PID ile iletilir ve bu bilgi şebeke referans saati (NCR) olarak adlandırılır. MPEG formatına sahip İleri yönlü trafiğin taşıdığı NCR 27 MHz'lik bir sinyal olup aynı zamanda taşıyıcı senkronizasyonunu da sağlar. Normal bir DVB taşıyıcısı 10^{-8} den daha iyi bir frekans kararlılığına sahip olmalıdır.

TDMA temelli sistemlerde bir terminalin kendine tahsis edilmiş olan zaman dilimi içerisinde sinyal göndermesi patlama (burst) olarak nitelendirilir. DVB-RCS sisteminde dört çeşit patlama mevcuttur. Bunlar trafik patlaması (TRF), elde etme patlaması (ACQ), senkronizasyon (SYNC) patlaması ve sinyalizasyon patlamasıdır (CSC).

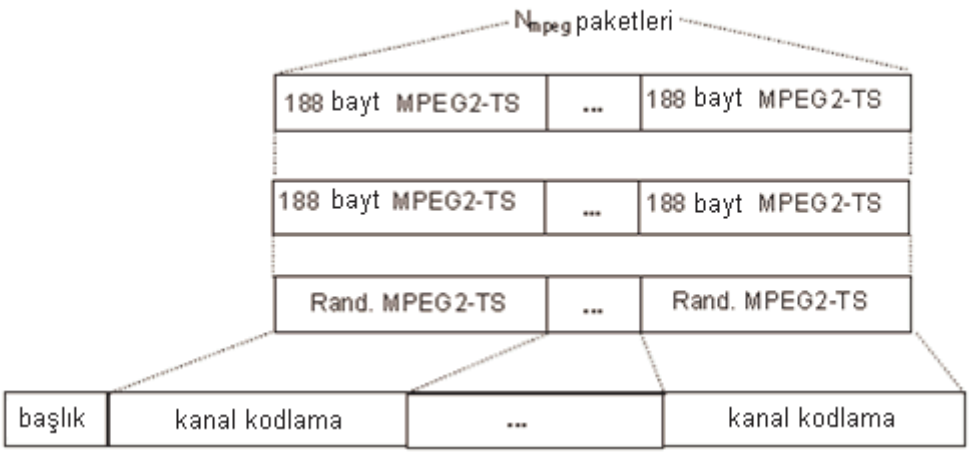
Trafik patlaması

Trafik patlamaları iki farklı formatta olabilmektedir. Bunlardan ilki ATM hücreleri ikincisi ise MPEG2 iletim formatı şeklindedir. ATM trafiği Şekil 6.15'de belirtilen 53 baytlık N_{atm} hücrelerinden oluşur. İsteğe bağlı olarak bazı sistemlerde terminalin ilave bant genişliği talebi, terminalin monitör ve kontrolü için kullanılan SAC $N_{p,atm}$ başlığı eklenebilir. Daha sonra bu eklenen başlıkların ve ATM hücrelerinin kanal kodlamasına tabii tutulması sonucu ATM Trafik formatı Şekil 6.16'daki gibi elde edilmiş olur.



Şekil 6.15. ATM trafik formatı

MPEG iletim formatındaki trafik ise 188 baytlık MPEG 2 paketlerinden oluşur. Merkez istasyonunun terminale tahsis ettiği zaman dilimi içerisinde gönderilecek olan MPEG2 iletim formatındaki hücrelerin sayısı değişebilmekte olup bu hücrelerin kanal kodlamasına tabii tutulması ile paket yapısı oluşturulmuş olur.



Şekil 6.16. Trafik patlaması çatısı

Senkronizasyon Patlaması

Senkronizasyon patlaması bir terminalin merkez ile senkronizasyonunu ve terminalin kontrol bilgisini merkeze iletebilmesi için kullanılır. Senkronizasyon bilgisi, patlamanın tespiti için kullanılan bir başlık paketinden ve SAC (Satellite Access Control) paketinden oluşur. Bu başlıkların ve eklerin CRC kodu ile kodlanması ile senkronizasyon paketleri son halini almış olur.

Elde Etme Patlaması

Elde etme patlaması terminalin operasyonel anlamda şebeke kullanımına dair bir senkronizasyon sağlar.

Genel Sinyalizasyon Kanalı (CSC) Patlama Formatı

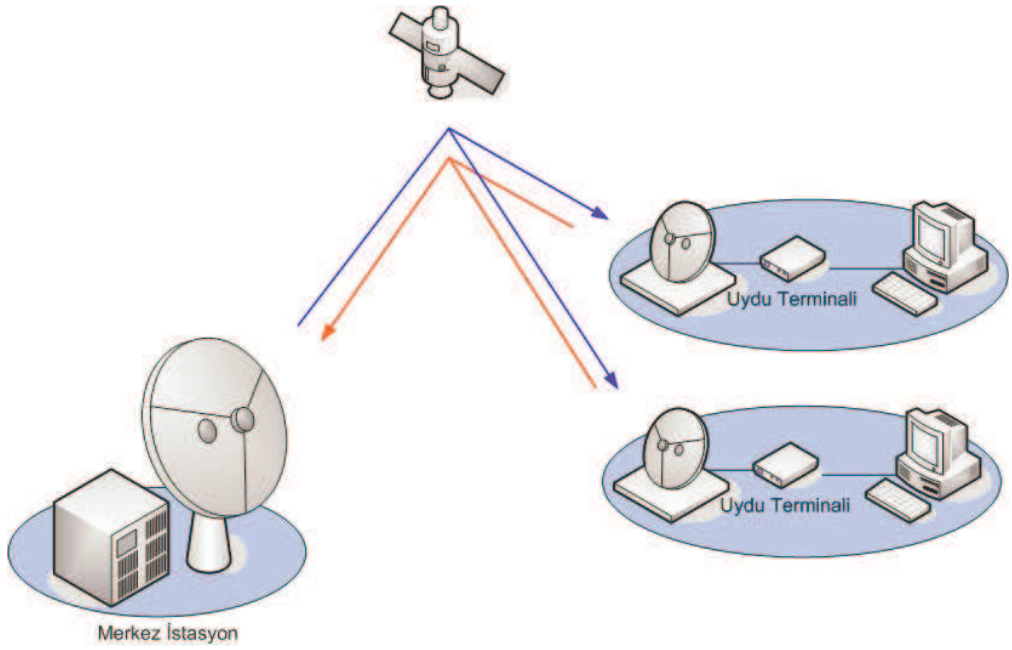
CSC patlamaları sadece terminalin kendisini şebekeye tanıtması sırasında kullanılır. CSC, patlama tespiti için eklenen başlıklardan ve terminalin yetki ve kabiliyetinin belirtildiği ek bilgilerden oluşur. DVB-RCS birçok hata kodlama imkânını da sağlar. Sistem Reed Solomon, TPC, konvolüsyonel ve CRC kodlarını destekler.

7. VSAT SİSTEMLERİNDE BANT GENİŞİLĞİ İYİLEŞTİRMELERİ

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere uydu haberleşme sistemlerinde bant genişliği veriminin arttırılması noktasında farklı yaklaşımlar sergilenmekte ve bu yaklaşımlar standartlaştırılmaktadır. Bu kapsamda ETSI organizasyonu DVB-S ve daha sonrada DVB-S2 standartlarını yayınlamıştır. DVB-S2 standardı ile daha verimli bir BER oranı sağlayan LDPC kodu benimsenmiş ve uyarlamalı modülasyon tekniği ile kesintisizlik oranının arttırılması yoluna gidilmiştir. Her iki yeni esas değişikliğin bant genişliği kullanıma etkisi olmuştur. Bu çalışmada DVB-S ile DVB-S2 formatlarının bant genişliği üzerine etkisi farklı kuvvetteki kapsama alanları ve farklı yağış rejimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

7.2. Uyarlamalı Modülasyon Kodlamalı Sistemlerdeki ve DVB Formatlı Sistemlerdeki Bant Genişliği Verimi

Hesaplamalarda yıldız topolojide çalışan 100 adet VSAT uydu terminalinden oluşan bir VSAT şebekesi esas alınmıştır.



Şekil 7.1. VSAT şebekesi

Bu şebekede her bir terminalin merkez istasyona doğru 512 kbps'lik ve merkez istasyondan terminale doğru ise 2000 kbps'lik bir bağlantı hızının olacağı varsayılmıştır. Şebeke Ku frekans bandı üzerinde çalışacak olan şebekenin merkezi ve uç VSAT terminal bileşenlerinin özellikleri Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2'de verilmiştir. Verilecek olan servisin %99,8 kesintisizlik ile verileceği varsayılmıştır.

Çizelge 7.1. Merkez istasyon özellikleri

Anten Çapı	7 m	
Anten Gürültü Sıcaklığı (40 derecelik bakış açısı için)	24 K	
HPA (High Power Amplifier) Gücü	750 W	
Bağlantı zayıflaması	2 dB	
LNB Gürültü Sıcaklığı	0,8 dB	
	Alış	Veriş
Anten kazancı	57,1 dB	58,1 dB
Frekans Bandı	10,95-12,75GHz	14-14,5 GHz

Çizelge 7.2. VSAT istasyon özellikleri

Anten Çapı	1,8 m	
Anten Gürültü Sıcaklığı (40 derecelik bakış açısı için)	22 K	
HPA (High Power Amplifier) Gücü	1 W	
Bağlantı zayıflaması	0,5 dB	
LNB Gürültü Sıcaklığı	1,1 dB	
	Alış	Veriş
Anten kazancı	43,7 dB	46,8 dB
Frekans Bandı	10,95-12,75GHz	14-14,5 GHz

Söz konusu simülasyonda şebekenin kullanacağı uydunun 10 farklı kapsama kontöründe hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan uydu parametreleri Çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Uydu parametreleri

	G/T [dB/K]	SFD	EIRP [dBW]
1.Kontör	1	-87	44
2.Kontör	2	-88	45
3.Kontör	3	-89	46
4.Kontör	4	-90	47
5.Kontör	5	-91	48
6.Kontör	6	-92	49
7.Kontör	7	-93	50
8.Kontör	8	-94	51
9.Kontör	9	-95	52
10.Kontör	10	-96	53
IBO	8 dB		
OBO	3 dB		

Simülasyon senaryosunda bağlantının 1/10 paylaşım oranı ile verilmesi ve %10'luk ilave başlık bitlerinin ekleneceği göz önünde bulundurulduğu takdirde merkezi istasyondan terminallere doğru gönderilecek veri miktarı aşağıdaki (7.1) eşitliği ile hesaplanır.

$$R_I = n_{VSAT} \times PO \times (1 + OH) \times R_{VSAT} \tag{7.1}$$

Eş. 7.1'de;

R_I = Toplam veri oranı (Information Rate)

n_{VSAT} = VSAT terminal sayısı

R_{VSAT} =VSAT veri oranı

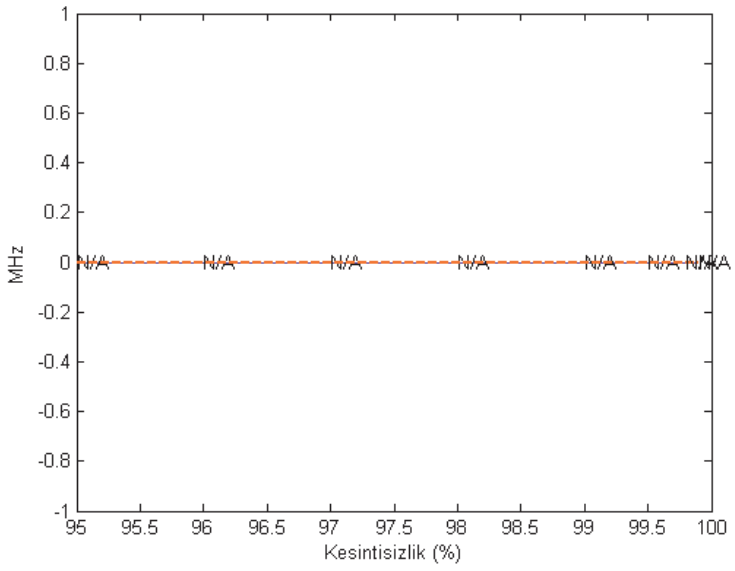
PO= Paylaşım oranı

OH= İlave başlık verisi (yüzde olarak) olarak alınmıştır.

$$R_I = 100 \times \frac{1}{10} \times (1 + 0{,}1) \times 2000 = 22 \text{ Mbps} \qquad (7.2)$$

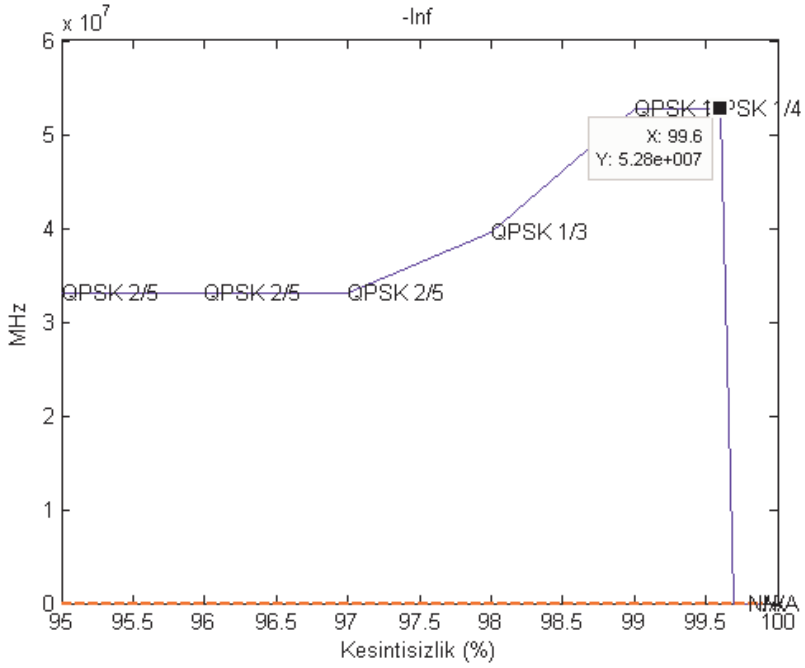
Böylece merkezden terminallere doğru iletilecek toplam veri oranı Eş. 7.2'den 22Mbps olarak bulunur.

Yapılan hat bütçesi hesapları doğrultusunda 22Mbps'lik bir verinin %99,8 kesintisizlikle iletilebilmesi hem DVB-S1 hem de DVB-S2 standartlarıyla birinci kontörde Şekil 7.2'den de görüleceği üzere mümkün olmadığı görülmüştür.



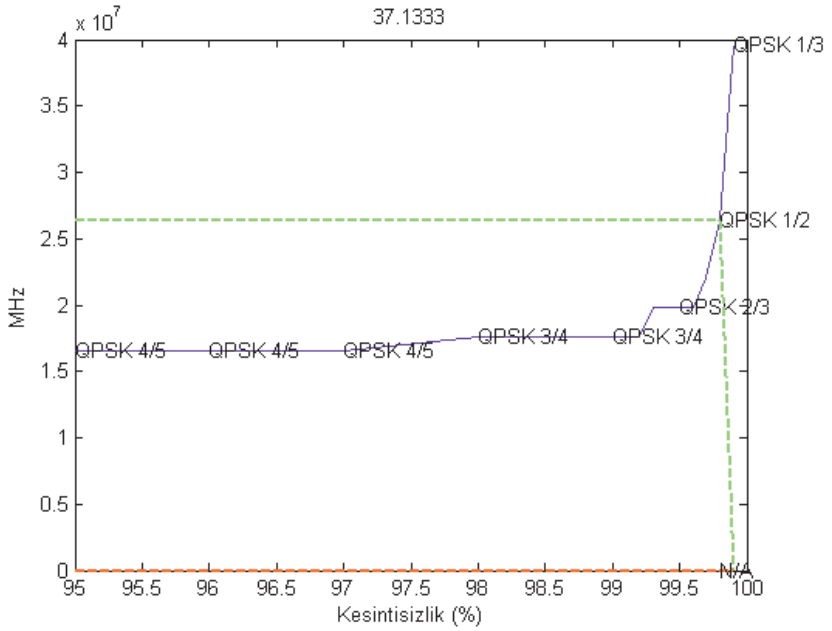
Şekil 7.2. Birinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

İkinci uydu kapsaması kontöründe ise uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği ile Şekil 7.3'den görüleceği üzere ancak %99,6 kesintisizlik oranı ile sağlamıştır.



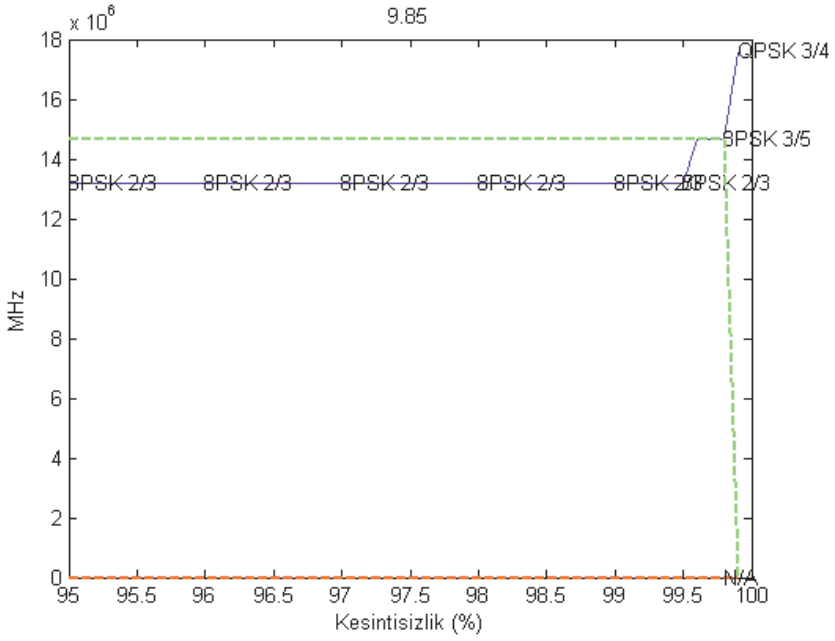
Şekil 7.3. İkinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

Üçüncü uydu kapsamasında ise uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği ile sabit kod ve modülasyonlu DVB-S2 standardı (CCM) %99,8 kesintisizlik oranı ile iletişim sağlayabildi. Şekil 7.4'den görüleceği üzere ACM metodu CCM tekniğine nazaran %37,133'lik bant genişliği tasarrufu sağlamıştır. ACM özelliğinin kullanıldığı taşıyıcının %98'lik bölümü QPSK 4/5, %1,2'lik bölümü QPSK 3/4, %0,4'lük bir bölümü QPSK 2/3 ve %0,2'lik bir bölümü ise QPSK 1/2 formatında iletilmektedir.



Şekil 7.4. Üçüncü kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

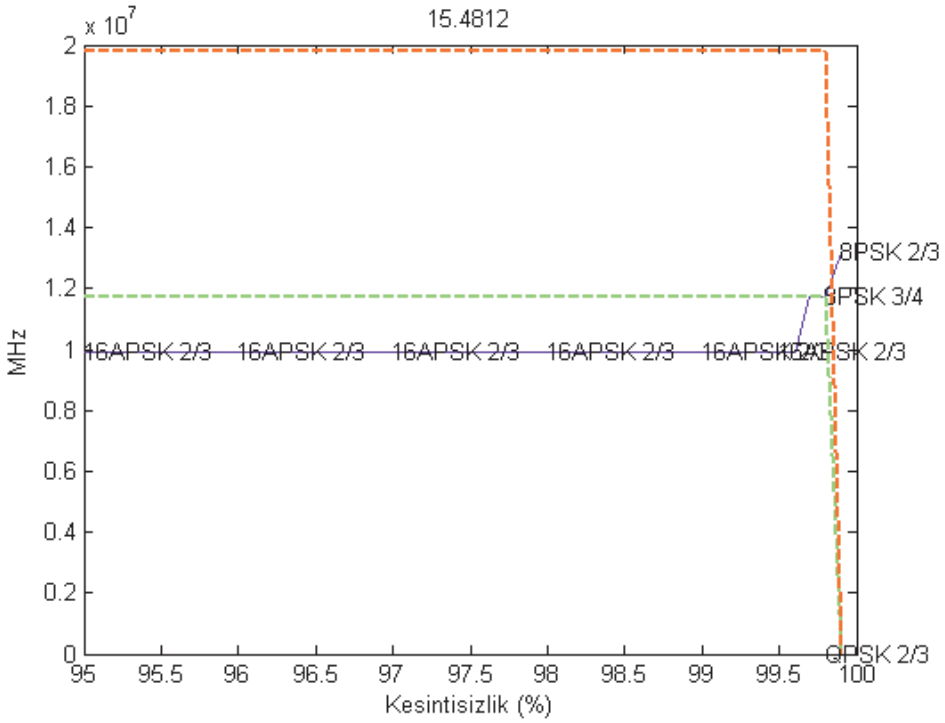
Dördüncü uydu kapsamasında ise uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu taşıyıcıya nazaran (Şekil 7.5) ancak %9,85'lik bir iyileştirme sağlayabilmiştir.



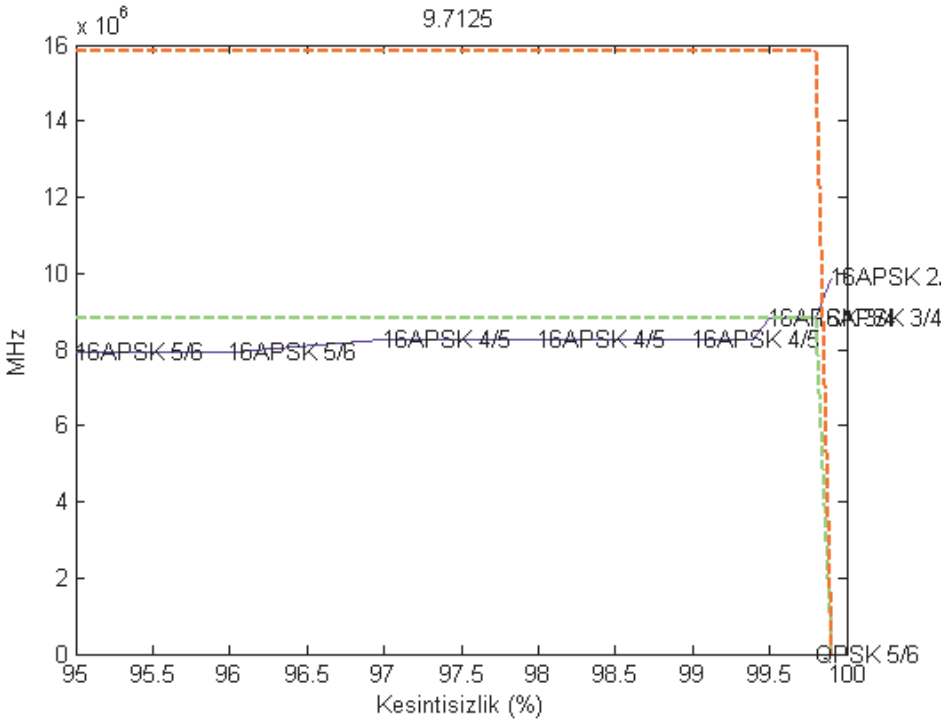
Şekil 7.5. Dördüncü kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

Beşinci uydu kapsaması kontöründe ise uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu sisteme nazaran (Şekil 7.6) %15,48'lik bir iyileştirme sağlayabilmiş ve bu kontörde DVB-S QPSK 2/3 yayın formatıyla %99,8'lik bir kesintisizlik ile devrenin 19,8 MHz bant genişliği kaplayarak çalışacağı görülmüştür. Böylece DVB-S2, DVB-S standardına nazaran %49,91'lik bir bant genişliği verimi sağlamıştır.

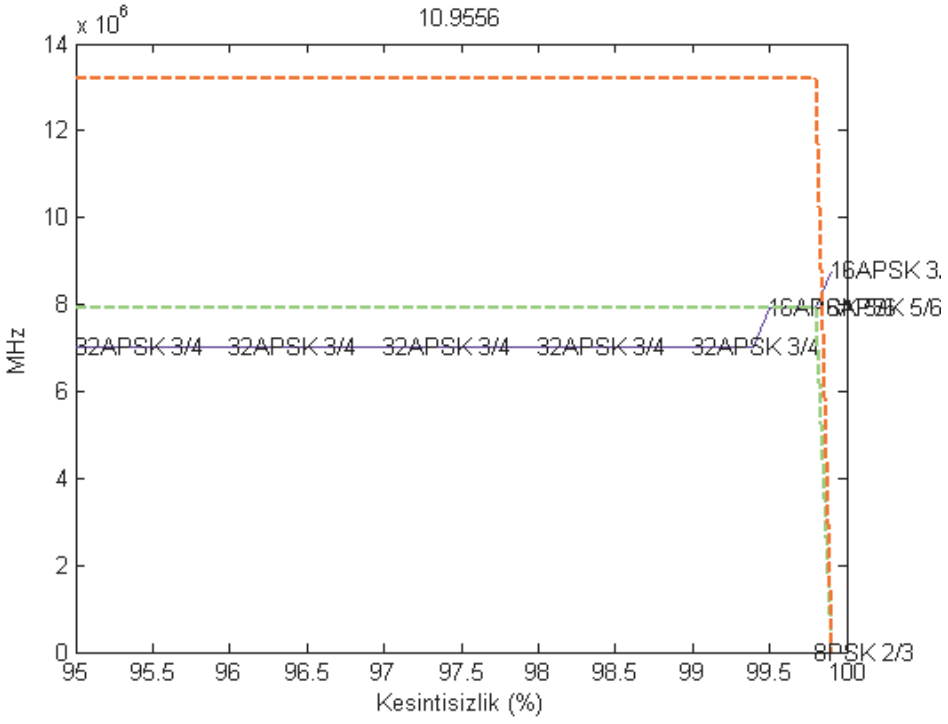
Altıncı uydu kapsamasında ise uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu sisteme nazaran Şekil 7.7'den görüleceği üzere %9,71'lik bir iyileştirme sağlayabilmiş ve bu kontörde DVB-S QPSK 5/6 yayın formatıyla %99,8'lik bir kesintisizlik ile devrenin 15,84 MHz bant genişliği kaplayarak çalışacağı görülmüştür. Böylece DVB-S2, DVB-S standardına nazaran %49,84'lük bir bant genişliği verimi sağlayarak bir önceki kontör ile arasında ciddi bir verim farkı olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.6. Beşinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği



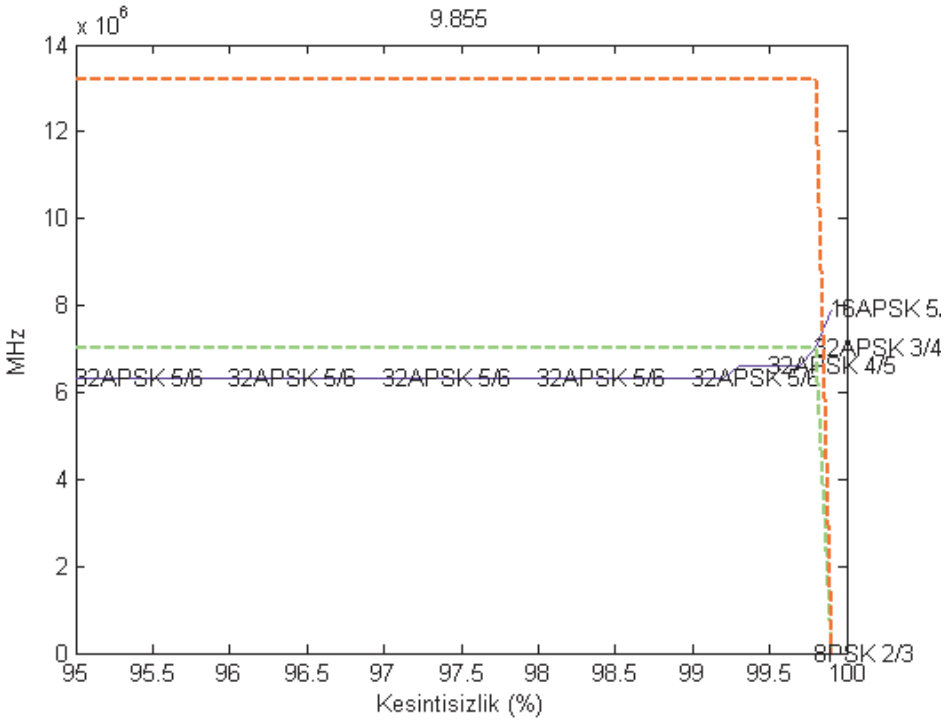
Şekil 7.7. Altıncı kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği



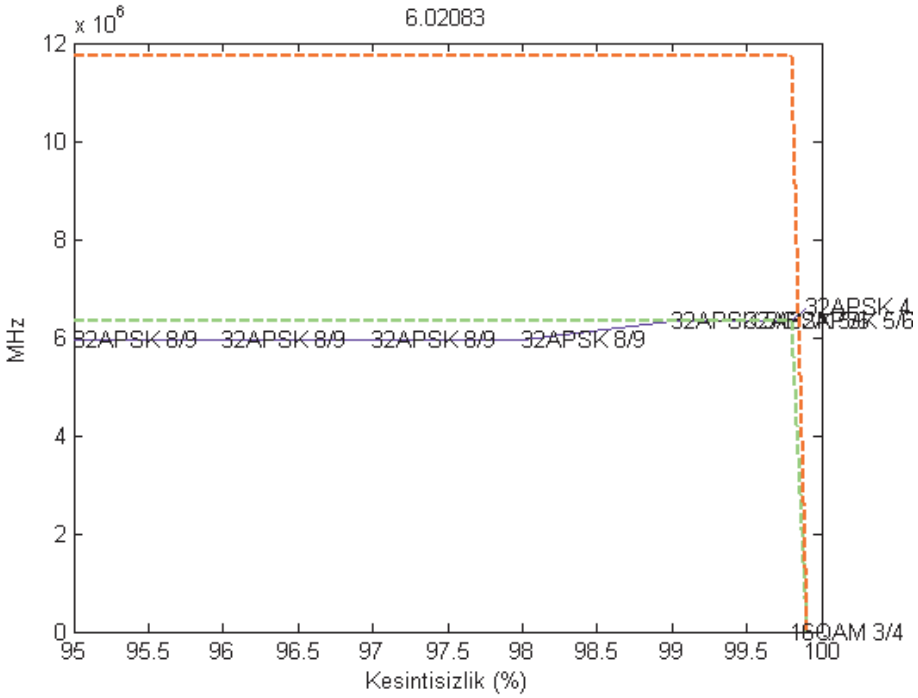
Şekil 7.8. Yedinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

Yedinci uydu kapsamasında uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu sisteme nazaran (Şekil 7.8) %10,95'lik bir iyileştirme sağlayabilmiş ve bu kontörde DVB-S 8PSK 2/3 yayın formatıyla %99,8'lik bir kesintisizlik ile devrenin 13,2 MHz bant genişliği kaplayarak çalışacağı görülmüştür. Böylece DVB-S2, DVB-S standardına nazaran %46,57'lik bir bant genişliği verimi sağlanmıştır.

Sekizinci uydu kapsamasında uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu sisteme nazaran Şekil 7.9'dan görüleceği üzere %9,85'lik bir iyileştirme sağlayabilmiş ve bu kontörde DVB-S 8PSK 2/3 yayın formatıyla %99,8'lik bir kesintisizlik ile devrenin 13,2 MHz bant genişliği kaplayarak çalışacağı görülmüştür. Böylece DVB-S2, DVB-S standardına nazaran %51,92'lik bir bant genişliği verimi sağlanmıştır.

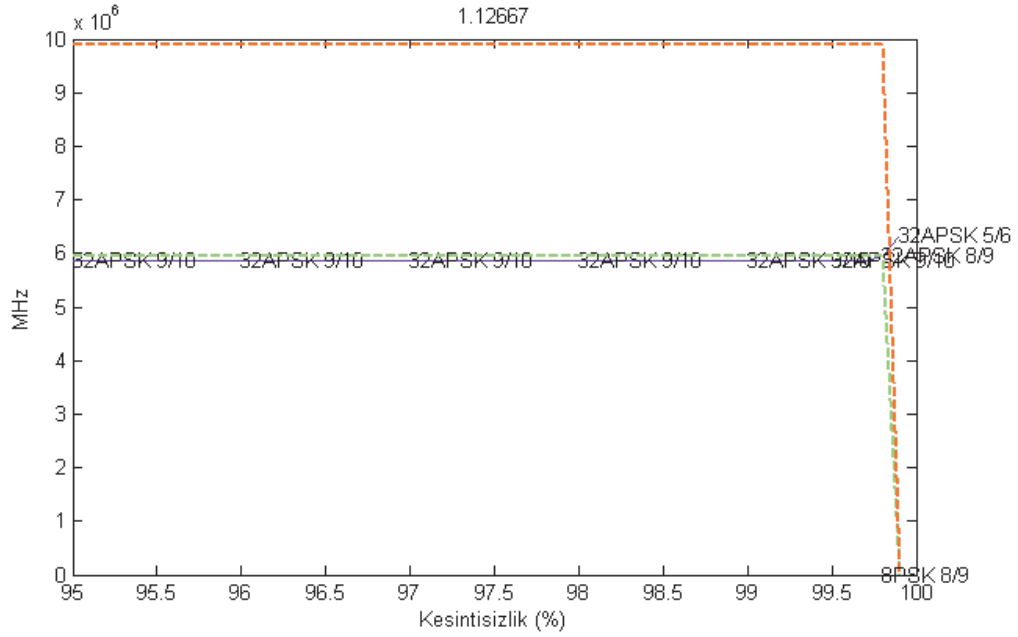


Şekil 7.9. Sekizinci kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği



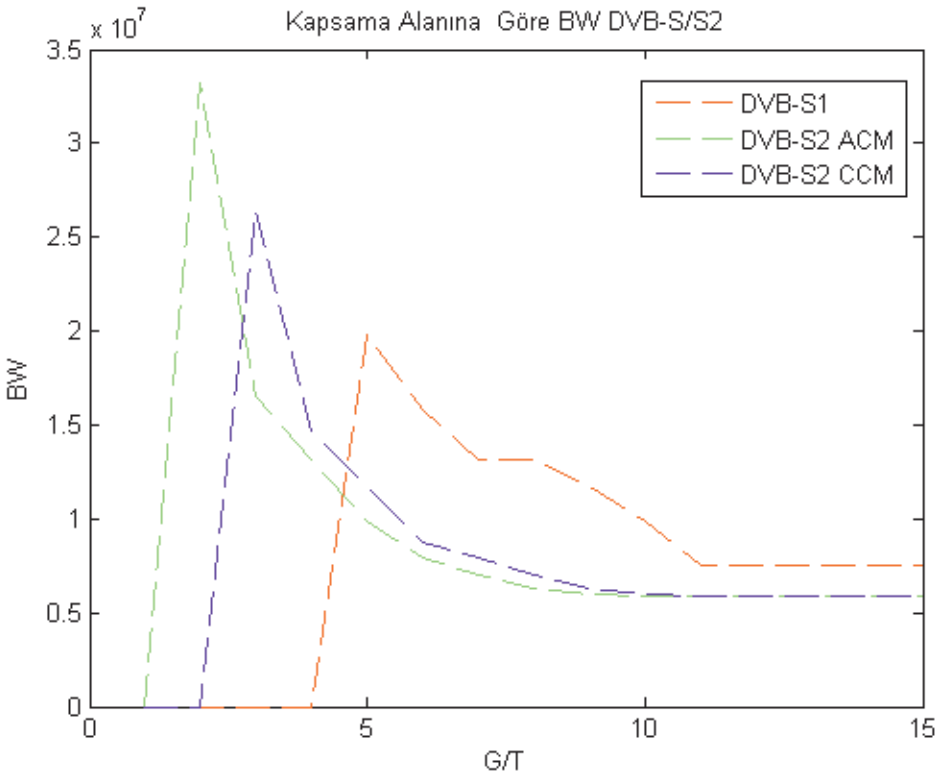
Şekil 7.10. Dokuzuncu kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

Dokuzuncu uydu kapsamasında uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu sisteme nazaran (Şekil 7.10) %6,02'lik bir iyileştirme sağlayabilmiş ve bu kontörde DVB-S 16QAM 3/4 yayın formatıyla %99,8'lik bir kesintisizlik ile devrenin 11,73 MHz bant genişliği kaplayarak çalışacağı görülmüştür. Böylece DVB-S2, DVB-S standardına nazaran %49,25'lik bir bant genişliği verimi sağlanmıştır.



Şekil 7.11. Onuncu kontör bant genişliği/ kesintisizlik grafiği

Onuncu uydu kapsamasında uyarlamalı kod ve modülasyon tekniği sabit kod ve modülasyonlu sisteme nazaran Şekil 7.11'den görüleceği üzere %1,12'lik bir iyileştirme sağlayabilmiş ve bu kontörde DVB-S 8PSK 8/9 yayın formatıyla %99,8'lik bir kesintisizlik ile devrenin 9,9 MHz bant genişliği kaplayarak çalışacağı görülmüştür. Böylece DVB-S2, DVB-S standardına nazaran %40,68'lik bir bant genişliği verimi sağlanmıştır.

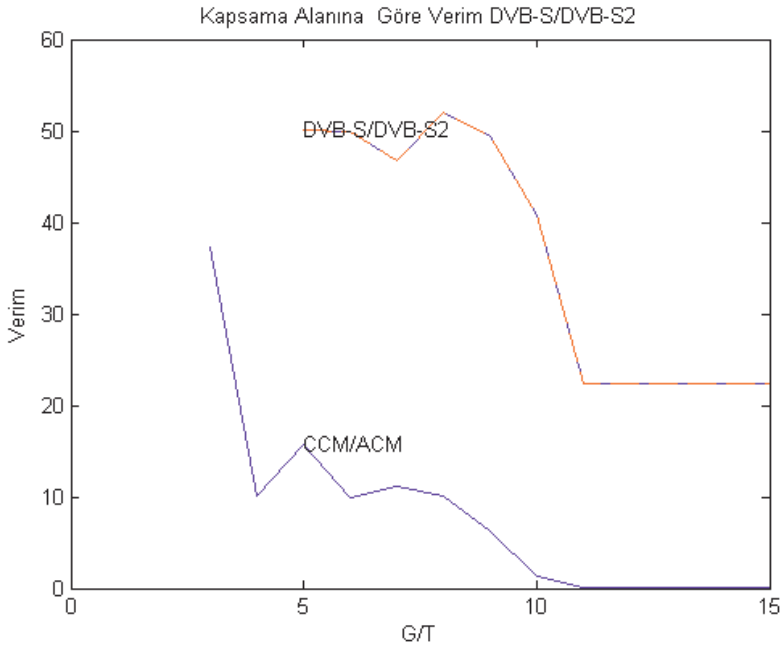


Şekil 7.12. Farklı kapsama alanlarındaki bant genişliği kullanımı

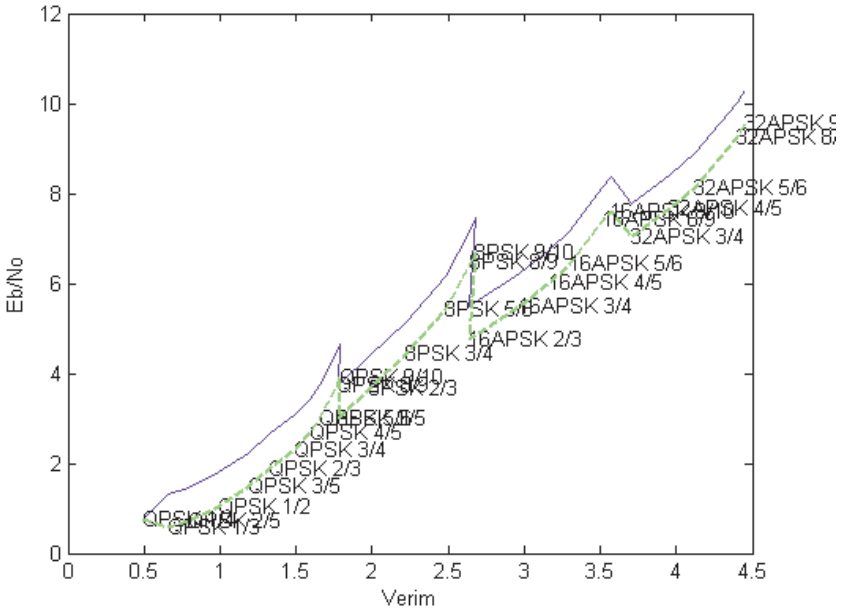
Şekil 7.12'de görüleceği üzere istenen nitelikteki bağlantı ancak ikinci kontörde ACM özellikli DVB-S2 taşıyıcısı ile kurulabilmiştir. Yapılan simülasyonlardan ve Şekil 7.12'deki grafikten ACM tekniğinin düşük kapsama alanında 0,6 dB'lik bir güç kazancı sağlandığı görülürken, yüksek güçteki kapsama alanlarında hem güç olarak ve dolayısıyla hem de bant genişliği açısından bir avantaj sağlanamamaktadır. ACM avantajının ortadan kalkmasındaki sebep uyarlamalı kod ve modülasyon tekniğindeki en üst modülasyon ve kodlama tekniğine ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile yüksek güçlü kapsama alanlarında anten çapı küçültülerek ACM kazancından faydalanılabilir.

Şekil 7.13'deki farklı kapsama alanlarına göre verilmiş verim grafiği incelendiğinde, CCM tekniğine göre 0,6 dB güç kazancı sağlayan ACM tekniği %37'lik bir bant genişliği verimi sağlamaktadır. ACM özellikli DVB-S2 taşıyıcı ise maksimum

modülasyon ve kod oranı 10. Kapsama alına kadar %52 ila %40'lık bir bant genişliği tasarrufunda bulunmuştur.



Şekil 7.13. Farklı kapsama alanlarındaki bant genişliği verimi



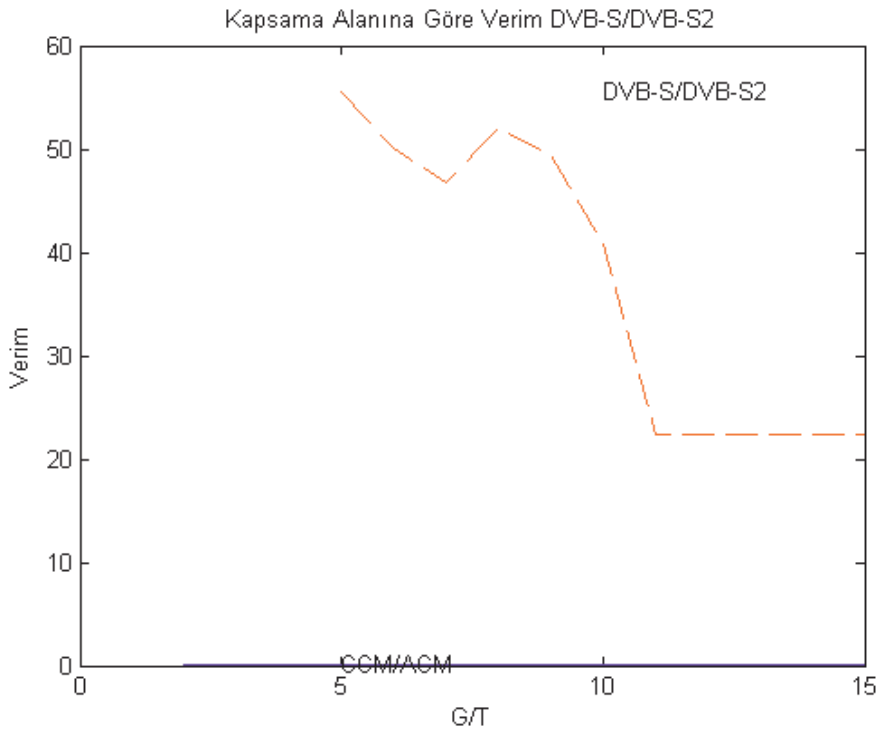
Şekil 7.14. DVB-S2, Eb/No verim grafiği

Uyarlamalı kod ve modülasyon tekniğinin düşük güçteki kapsama alanında ve düşük kod, modülasyon durumunda daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. Söz konusu bu durum oluşturulmuş olan kod ve modülasyon oranlarının 3dB altında toplam 9 farklı durum ile yoğunlaşmasından ve söz konusu durumları lineer olarak verimlerinin artmasından kaynaklanmıştır. ACM hiyerarşisindeki modülasyon geçişlerinin verim, Eb/No geçişlerinde çatallaşmalar meydana gelmektedir (Şekil7.14). Bu bölgede çalışan bir sistemdeki ACM verimi, dolayısıyla düşüyor. ACM tekniğinin verimliliğindeki dalgalanmaları engellemek için modülasyon geçişlerinde çatallaşmaların önüne geçecek ara modülasyon ve kod teknikleri kullanılmalıdır.

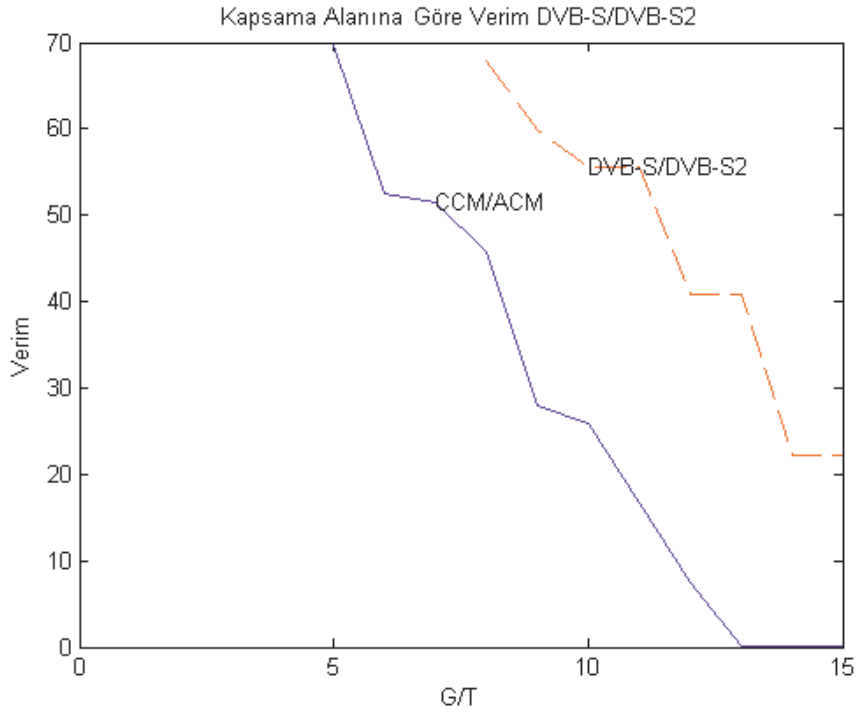
7.3. Uyarlamalı Modülasyon Kodlamalı Sistemlerin Farklı Yağış Rejimlerindeki Verimliliği

Uyarlamalı Modülasyon Kodlamalı sistemlerin farklı yağış rejimlerindeki verimlilik değişimini inceleyerek üç farklı lokasyon temel alınarak simülasyonlar yapılmıştır. Bu simülasyonlarda Mısırın 25°derece kuzey enlemi, 32,50° derece doğu boylamında yer alan Isan kenti, 39,92° derece kuzey enlemi, 32,83° derece doğu boylamında bulunan Ankara ve 28,67° derece kuzey enlemi, 77,23° derece doğu boylamında bulunan Delhi şehirleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Hesaplamalarda ITU-R P.618-9 dokümanı referans alınarak farklı kesintisizlik oranları için yağış zayıflatmaları referans alınmıştır. Isan kenti için yapılan simülasyon sonucu Şekil 7.15 deki grafikte verilmiştir. Isan kentinin kurak ve yağış miktarının az olmasına bağlı olarak yağış zayıflatmaları çok düşük ve değişkenlik arz etmemektedir. Dolayısıyla yağışın az olduğu bu tür rejimlerde ACM özelliğinin herhangi bir bant genişliği tasarrufu sağlamadığı görülmüştür.

Ankara'da ise nispeten yağışlı bir rejime sahip olduğundan Şekil 7.13'den görüleceği üzere maksimum %40 civarında bir verim elde edilebilmiştir. Yağışların çok daha yoğun olduğu Delhi kentinin verim grafiği Şekil 7.16'te verilmiş olup grafikten görüldüğü üzere verim %70 mertebelerine kadar ulaşmıştır.



Şekil 7.15. Isna Şehri ACM/CCM ve DVB-S/DVB-S2 verimi



Şekil 7.16. Delhi Şehri ACM/CCM ve DVB-S/DVB-S2 verimi

Sonuç olarak ACM sistemlerinin yağışların yoğun olduğu bölgelerde kullanımı ciddi avantajlar sağlamakta ve bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uydu haberleşmesinde güç (kapsama alanı) ve bant genişliği en önemli parametreler olarak karşımıza çıkar. Kuvvetli bir uydu kapsaması ile aynı zamanda yüksek mertebeden modülasyon tekniklerinin kullanımına imkân vererek bant genişliği verimi arttırılır. Modülasyon tekniklerinin haricinde hata kodlaması ve erişim teknikleri de bant genişliğine direkt etki eder. Bunun yanı sıra daha yüksek haberleşme katmanlarında da bant genişliği veriminin arttırılmasına çalışılmakta ve bu amaçla uygulama hızlandırıcıları ve yönlendirme protokolleri üzerinde çalışılmaktadır.

Bu çalışma ile uydudan IP temelli haberleşme imkânı sağlayan VSAT sistemleri üzerindeki bant genişliği verimliliğinin arttırılması ele alınmış ve standardizasyonunu giderek arttığı uydu haberleşme sektöründeki DVB-S2 haberleşme sistemlerinin getirmiş olduğu yeniliklerin bant genişliğine etkisi araştırılmıştır. Yapılan hesaplamalarda uyarlamalı kod ve modülasyon tekniğinin yağışlı rejimlerde çok yüksek bir bant genişliği tasarrufu sağladığı görülmüştür. Ayrıca ACM tekniğinin ilk QPSK modülasyonlu durumlarında daha yüksek verimlerin elde edildiği görülmüştür. Bu durumun oluşmasındaki ana etmen ise ACM hiyerarşisindeki modülasyon, kod durumlarının bu bölgede daha yoğun ve daha küçük Eb/No değerleriyle artmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Bant genişliğinde verimin arttırılması noktasında önemli bir rol üstlenen bir diğer konu ise sıkıştırma algoritmaları ve uygulama hızlandırıcılarıdır. Özellikle uygulama hızlandırıcılar uydu gecikmesinin fazla olmasından kaynaklanan uygulama yavaşlamalarını engellemekte ve uygulamaların tepki sürelerini düşürmektedir. Özellikle TCP/IP tabanlı web uygulamalarının yoğun olarak kullanıldığı günümüzde üçüncü ve dördüncü katman haberleşme protokolleri üzerinde çalışılarak uygulama hızlandırıcı yazılım hazırlanabilir. Ayrıca gelecekte uydunun sadece bir sinyal kuvvetlendiricisi pozisyonu yerine modülasyon, demodülasyon ve yönlendirme gibi bir takım temel bant işlevlerinin kazandırılarak veri haberleşmesinde yaygın olarak

kullanılacağı öngörülmektedir [22]. Dolayısıyla gelecek nesil veri haberleşme uydularının sağlayacağı bant genişliği verimliliği ve diğer avantajları araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Abramson, N.,"Multiple Access For Broadband Wireless Networks- Internet Access Using VSATs", ***IEEE Communications***, 38: 60-68 (2000).

[2] Wong, E., W., M., Yum, T., "A Controlled Multiaccess Protocol For Packet Satellite Communication", ***IEEE Transactions On communications***, 39 (7): 1133-1140(1991).

[3] Akyildiz, F., Ekici, E., Bender, D., "MLSR: A Novel Routing Algorithm for Multilayered Satellite IP Networks", ***IEEE/ACM Transactions On Networking***, 10 (3): 411-424 (2002).

[4] Filali, F., Dabbous, W., Kamoun, F., "Efficient Planning of Satellite-Terrestrial Hybrid Networks for Multicast Applications", ***IEEE Communications***, 1: 216-223 (2001).

[5] Craig Partridge, Timothy J. Shepard, "TCP/IP Performance over Satellite Links", ***IEEE Network,*** 11 (5): 44-49 (1997).

[6] Tomlinson, M., Ambroze, M., Wade, G , "Power and Bandwidth Efficient Modulation and Coding For Small Satellite Communication Terminals", ***IEEE Communications***, 5: 2943-2946 (2002).

[7] Elbert, R.,"The Satellite Communication Applications Handbook Second Edition", ***Artech House, Inc***. Norwood, 7-9 (2004).

[8] İnternet : Orbcomm "Space Segment" http://www.orbcomm.com/about/spaceSegment.htm (2009).

[9] İnternet : Iridium "Global Network" http://www.iridium.com/about/globalnetwork.php (2009).

[10] İnternet : Globalstar Avrasya "Global Uzay" http://www.globalstar.com.tr/home.php?Sayfa=uzay (2009).

[11] İnternet : Hava Harp Okulu "GNSS Global Navigation Satellite Systems" http://www.hho.edu.tr/huten/2003-2004%20SEMINER%20INTERNET/TOLGA%20CINAR/TOLGA-GNSS%20%5BWORD%5D.pdf (2004).

[12] Intelsat, I.,"Earth Station Technology Handbook Revision 5", ***Intelsat***, Washington, 5-10 (1999).

[13] İnternet : Complex to Real "All Abouth Modulation" http://www.complextoreal.com/chapters/mod1.pdf (2006).

[14] Rom, R., Sidi, M., "Multiple Access Protocols Performance and analysis", ***Springer-Verlag***, New York, 1-13 (1989)

[15] Tanenbaum, A., S., "Computer Networks, Fourth Edition", ***Prentice Hall***, New Jersey, 202 , (2003)

[16] Feher, K., "Digital Communications Satellite / Earth Station Engineering", ***Prentice Hall***, Englewood Cliffs, 336-350 (1983)

[17] İnternet : Wikipedia "Code division multiple access" "http://en.wikipedia.org/wiki/Code_division_multiple_access" (2009).

[18] G. Maral, "VSAT Networks Second Edition", ***John Wiley & Sons***, Cornwall, 6-9, 17-32,(2003)

[19] Manvi, S., S., Flexwala, A., Singh, A., "A dynamic bandwidth allocation scheme for VSAT-based Networks", ***Journal Indian Institute of Science,*** 85:183-193 (2005).

[20] İnternet : The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) "Digital Video Broadcasting (DVB) Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (EN 300 421 V1.1.2) "http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300421/01.01.02_60/en_300421v010102p.pdf " (1997).

[21] İnternet : The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) "Digital Video Broadcasting (DVB) Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2) (Final draft ETSI EN 302 307 v1.2.1) "http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_40/en_302307v010201o.pdf" (2009).

[22] Takei J., Murai J., "Satellite Communication in the Internet: Its history and the Technology", ***IEEE Communications,*** 7: 3- 7.(2003)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: YARAŞLI, Ahmet Fazıl
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 19.06.1982, Muğla
Medeni hali	: Bekâr
Telefon	: 0 (312) 615 30 60
Faks	: 0 (312) 615 32 49
e-mail	: afyarasli@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2009	Türksat Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş.	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce