

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UYDULARDA GÜVENİLİRLİK İNCELEMESİ VE HABERLEŞME
UYDULARININ TAKTİK SAHA İLETİŞİMİNDE KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin AKGÜN**

Anabilim Dalı : SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ

Programı : BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ

TEMMUZ 2002

**UYDULARDA GÜVENİLİRLİK İNCELEMESİ VE HABERLEŞME
UYDULARININ TAKTİK SAHA İLETİŞİMİNDE KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin AKGÜN
(514001027)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Haziran 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Temmuz 2002**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Serhat ŞEKER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Kevork MARDİKYAN
Doç.Dr. Osman Nuri UÇAN (İ.Ü.)**

TEMMUZ 2002

ÖNSÖZ

Uydularda Güvenilirlik İncelemesi Ve Haberleşme Uydularının Taktik Saha İletişiminde Kullanılması adlı tez çalışmamın oluşmasında başta hocam Doç.Dr. Serhat ŞEKER, Bnb.Erdal ÇAYIRCI, aileme, arkadaşlarım M. Tayfun ÜLBEGİ ve Zeki DEMİR'e sonsuz teşekkürleri bir borç bilirim.

HAZİRAN 2002

Hüseyin AKGÜN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. UYDU HABERLEŞMESİNİN TEMELLERİ	4
2.1. Haberleşme Sistemleri	4
2.2. Haberleşme Uyduları ve Tarihsel Gelişimi	5
2.3. Uyduların Haberleşmede Avantajları	7
2.4. Uyduların Karasal Sistemlerle Karşılaştırılması	7
2.5. Uydu Sistemleri	7
2.6. Kullanılan Frekans Aralıkları	8
2.7. Band Genişliği	9
2.8. Antenler	10
2.9. Yörüngeler	11
3. MODÜLASYON	12
3.1. Genlik Modülasyonu	12
3.2. Frekans Modülasyonu	14
3.3. Dijital Modülasyon	16
3.3.1. Faz değiştirmeli anahtarlama	16
3.3.2. Frekans değiştirmeli anahtarlama	18
4. ÇOKLU ERİŞİM	20
4.1. Sabit Ayrılmış Sistemler	21
4.1.1. Frekans bölmeli çoklu erişim	21
4.1.2. Zaman bölmeli çoklu erişim	24
4.1.3. Kod bölmeli çoklu erişim	26
4.2. Rasgele Erişimli Sistemler	28
4.2.1. Saf aloha sistemi	28
4.2.2. Bölmeli aloha	29
4.2.3. Kapasite ayırmalı aloha	29
4.2.4. Tutma etkili aloha	30
4.2.5. Seçici dışlamalı aloha	30
4.3. Kontrollü Erişim Protokolleri	31
4.3.1. TDMA rezervasyonlu DAMA	31
4.3.2. Bölmelendirilmiş aloha rezervasyonlu DAMA	32
4.3.3. Bölmelendirilmemiş yerel senkronize rezervasyon	32
4.3.4. Hibrit rezervasyon / rasgele erişim	32
5. KODLAMA	34
5.1. Kayma Kayıtcıları (Shift Registers)	36
5.2. Kodun Sınıflandırılması	36
5.2.1. Blok kodları	36
5.2.2. Konvolüsyon kodları	38
5.3. Otomatik Tekrar İsteği	41
6. UYDU YÖRÜNGELERİ	42
6.1. Uydu Hareketi İçin Genel Kurallar	42

6.2. Yörüngelerin Sınıflandırılması	43
6.2.1. Alçak yörünge	44
6.2.2. Güneş senkron yörünge	44
6.2.3. Yarı senkron yörünge	44
6.2.4. Yüksek eliptik yörünge	44
6.2.5. Molniya yörünge	45
6.2.6. Jeosenkron yörünge	45
6.2.7. Derin uzay yörüngesi	45
6.3. Koordinat Sistemleri	45
6.3.1. Heliosentrik- ekliptik koordinat sistemi	45
6.3.2. Yer Merkezli –ekvatorsal koordinat sistemi	46
6.3.3. Açılım –alçalma koordinat sistemi	46
6.3.4. Odak etrafında gösterilen koordinat sistemi	47
6.3.5. Astronomik ufuk koordinat sistemi	48
6.4. Yeryüzündeki Bir Noktanın Koordinatları	49
6.5. Güneş ve Yıldız Günü (Solar and Sidereal Day)	49
6.6. Uyduyu Etkileyen Kuvvetler	50
6.5.1. Yeryüzü etkisi	50
6.5.2. Diğer büyük kütlelerin çekimi	50
6.5.3. Güneş radyasyonu basıncı	50
6.5.4. Diğer etkiler	50
7.UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ	52
7.1. Hata Oranı	52
7.2. Yaşam Olasılığı veya Güvenilirlik	53
7.3. Bozulma Oranı veya Güvensizlik	54
7.3.1. Bozulma olasılık yoğunluğu	54
7.4. Ortalama Ömür (MTTF)	55
7.5. Uydu Sistemi Elverişliliği	57
7.5.1. Yörüngede yedek uydu olmama durumu	57
7.5.1.1. Gerekli uydu sayısı	58
7.5.1.2. Sistem elverişliliği	58
7.5.2. Yörüngede yedek uydu olduğu durum	59
7.6. Alt Sistem Güvenilirliği	60
7.6.1. Seri elemanlar	60
7.6.2. Paralel elemanlar	61
7.6.3. Dinamik güvenilirlik	63
7.6.4. Anahtarların güvenilirliği eklenince sistem güvenilirliği	65
7.6.5. Değişik hata modları olan sistem	69
8.TAKTİK SAHA HABERLEŞMESİ	71
8.1. Askeri Haberleşmenin Karakteristikleri	72
8.2. Askeri Haberleşme İçin Sistem Gerekleri	73
8.3. NATO'nun 2000 Sonrası Taktik Haberleşme Sistemleri	74
8.4. A.B.D. Askeri Taktik Haberleşme Sistemi	77
8.5. Çok Kanallı SHF Sistemi	78
8.5.1. AN/TSC-85 Taktik saha haberleşme sistemi	78
8.5.2. AN/TSC-93 Taktik saha haberleşme sistemi	79
9. SONUÇLAR VE YORUMLAR	82
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	90

KISALTMALAR

ACUS	: Alan Ortak Kullanıcı Sistemi
ACCSA	: Müttefik Haberleşme ve Bilgisayar Güvenlik Ajansı
ADDS	: Ordu Veri Dağıtım Sistemi
ARQ	: Otomatik Tekrar İsteği
ASK	: Genlik Değiştirmeli Ayarlama
ATCA	: Müttefik Taktik Haberleşme Ajansı
ATCCS	: Ordu Taktik Komuta Kontrol Sistemi
ATM	: Asenkron Transfer Modu
AUTODIN	Otomatik Dijital Ağ
BPSK	: İki Faz Değiştirmeli Ayarlama
C4I	: Komuta, Kontrol, Haberleşme, Bilgisayar ve İstihbarat
C-ALOHA	: Tutma Etkili Aloha
CBR	: Taşıyıcı ve Bit Zamanı Düzeltmesi
CDMA	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim
CNR	: Savaş Ağ Telsizleri
COMSAT	: Haberleşme Uydusu
DA-FDMA	: İsteğe Bağlı Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
DAMA	: İsteğe Bağlı Çoklu Erişim
DSCS	: Savunma Uydu Haberleşme Sistemi
DSN	Savunma Anahtarlı Ağ
EHF	: Ekstra Yüksek Frekans
EIRP	: Etkin İzotropik Yayılan Güç
FCFS	: İlk Giren İlk Çıkar Rezervasyonu
FDM	: Frekans Bölmeli Çoklayıcı
FDMA	: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FEC	: İleri Hata Düzeltmesi
FM	: Frekans Modülasyonu
F-PODA	: Sabit Öncelikli İstek Tahsisi
FSK	: Frekans Değiştirmeli Anahtarlama
GEO	: Jeosenkron Yörünge
GPS	: Küresel Yer Belirleme Sistemi
IF	: Ara frekans
INMARSAT	: Uluslar arası Deniz Uydu Organizasyonu
ISDN	: Entegre Anahtarlı Dijital Ağ
ISL	: Uydular Arası Bağlantı
ITU	: Uluslararası Haberleşme Birliği
LAS	: Dar Alan Altsistemi
LEO	: Alçak Yörünge
MARISAT	: Deniz Uydusu Haberleşme Sistemi

M-ary PSK	: M'nci Dereceli Faz Değiştirmeli Anahtarlama
MCPC	: Taşıyıcı Başına Çok Kanal
MCS	: Manevra Kontrol Sistemi
MEO	: Orta Yörünge
MS	: Mobil Alt Sistem
MSE	: Mobil Abone Cihazı
NLR	: Gürültü Yükleme Oranı
P-ALOHA	: Saf Aloha
PG/6	: NATO Proje Grubu 6
PN	: Gürültü Benzeri
PODA	: Öncelik Esaslı Rezervasyon
PSK	: Faz Değiştirmeli Ayarlama
QPSK	: Dörtlü Faz Değiştirmeli Ayarlama
RF	: Radyo Frekans
S-ALOHA	: Bölmeli Aloha
SHAPE	: Avrupa Müttelik Kuvvetler Baş Karargahı
SHF	: Süper Yüksek Frekans
SINGARS	: Tek Kanal Yer ve Hava Telsiz Sistemi
SMCS	: Sistem Yönetimi ve Kontrolü Altsistemi
SPADE	: İsteğe Bağlı SCPC
SREJ-ALOHA	: Seçici Dışlamalı Aloha
SRUC	: Çarpışmaya Bağlı Bölme Rezervasyonu
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
TRI-TAC	: Triservice Tactical
UHF	: Ultra Yüksek Frekans
UW	: Tek Kelime
VSAT	: Çok Küçük Açıklıklı Uydu Terminali
WAS	: Geniş Alan Altsistem

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Haberleşme uydularının sınıflandırılması	6
Tablo 2.2. Frekans tahsis çizelgesi.....	9
Tablo 2.3. Frekans bandlarının kullanım biçimi	9
Tablo 7.1. 10 Yıllık MTTF için ortalama ömür grafiği	57
Tablo 7.2. Ortalama dizayn ömrü ve MTTF'ye göre elverişlilik ve fırlatılması gerekli uydu sayısı.....	60
Tablo 8.1. Uydu haberleşme terminalleri teknik özellikleri.....	81

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 :Genlik modülasyonu	13
Şekil 3.2 :Sinüs ile modüle edilmiş genlik modülasyonlu bir taşıyıcının frekans spektrumu	14
Şekil 3.3 :Modüle eden frekans=1, taşıyıcı frekansı =10, modülasyon indeksi =2 olarak FM	15
Şekil 3.4 :Modüle eden frekans=1, taşıyıcı frekansı =10, modülasyon indeksi=5 olarak FM	15
Şekil 3.5 :PSK sinyallerinin I-Q düzleminde gösterilmesi	17
Şekil 3.6 :PSK modülasyon örneği	18
Şekil 3.7 :M'li FSK göndermeç blok diyagramı	18
Şekil 3.8 :FSK örnek gösterimi	19
Şekil 4.1 :FDMA planı zaman frekans gösterimi	22
Şekil 4.2 :FDMA ile A ve B uydu yer istasyonları haberleşmesi	23
Şekil 4.3 :Zaman bölmeli çoklu erişim	24
Şekil 4.4 :Zaman bölmeleri organizasyonu	26
Şekil 5.1 :Kodlamanın genel konsepti	35
Şekil 5.2 :Konvolüsyon kodlayıcının temel fonksiyonel gösterimi	39
Şekil 5.3 :Konvolüsyon kodu için kod ağacı	40
Şekil 6.1 :LEO,MEO ve GEO uydu yörüngeleri.	43
Şekil 6.2 :Güneş merkezli koordinat sistemi	46
Şekil 6.3 :Yer merkezli ekvatorsal koordinat sistemi	46
Şekil 6.4 :Açılım- alçalma koordinat sistemi	47
Şekil 6.5 :Odak etrafında gösterilen koordinat sistemi	47
Şekil 6.6 :T noktasındaki uydunun astronomik ufuk koor. sis. göre açılarının gösterimi	48
Şekil 6.7 :Güneş ve yıldız günü	49
Şekil 7.1 :Hata oranı-zaman grafiği	53
Şekil 7.2 :Güvenilirlik-zaman grafiği	54
Şekil 7.3 :Zamana göre anlık hata olasılığı grafiği	55
Şekil 7.4 :(1/2) yedekli sistem	66
Şekil 7.5 :(2/3) yedekli sistem	68
Şekil 8.1 :Askeri haberleşme hiyerarşisi	72
Şekil 8.2 :NATO 2000 sonrası haberleşme mimarisi	76
Şekil 8.3 :Terminallerin noktadan noktaya bağlanması	80
Şekil 8.4 :Terminallerin hub-spoke şeklinde bağlanması	80
Şekil 8.5 :Terminallerin melez (hybrit) şekilde bağlanması	81

SEMBOL LİSTESİ

V_c	: Taşıyıcı dalga tepe genliği
ω_c	: Taşıyıcı açısal frekansı
V_m	: Modüle eden sinyal tepe genliğine
m	: Modülasyon indeksi
$m(t)$	: Frekans modülasyonu için modüle eden sinyal
$e_c(t)$	: Frekans modülasyonlu dalga
f_i	: Dalganın anlık frekansı
β	: Frekans modülasyonlu taşıyıcının modülasyon indeksi
$v(t)$	: Faz Değiştirmeli Anahtarlama
ϕ_m	: Faz açısı
$V_f(t)$	: İkili Frekans Değiştirmeli Anahtarlama
$a(t)$	: İkili Frekans Değiştirmeli Anahtarlama için gönderilen mesaj
r	: Kodlamada fazlalık biti
k	: Kodlayıcıya giren bilgi biti
n	: Kodlanmış blok
r_c	: Kod oranı
e_d	: Kod çözücünde bir kodun hata bulabilme kapasitesi (bit olarak)
d_h	: Hamming uzaklığı
e_{dc}	: Kod çözücünde bir kodun hata bulabilme ve düzeltme kapasitesi
$\bar{A}$	: k-bit kodlanmamış kelime satır matrisi
$\bar{C}$	: Kod oluşturma matrisi
c	: Kodlanmış bit dizisi
k	: Konvolüsyon kodlayıcıda ardarda gelen bilgi biti sayısı
v	: Konvolüsyon kodlayıcıda çıkış biti sayısı
ΣF	: m kütlesi üzerine etki eden bütün kuvvetlerin vektörel toplamı
$\bar{r}$	: kütlelerin vektörel ivmesi
F	: M kütlelerinin m kütlesi üzerinde uyguladığı kuvvet
G	: Yerçekimi katsayısı $= 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ dyn cm}^2 \text{ g}^{-2}$
α	: Açılım açısı

δ	: Alçalma açısı
ξ	: Azimut açısı
η	: Yükselme açısı
$\lambda(t)$	: Anlık hata oranı
R	: Güvenilirlik
U	: Uydu için maksimum ömür
D	: Güvensizlik
$f(t)$	: Bozulma olasılık yoğunluk fonksiyonu
T	: İlk hata olması ortalama süresi
τ	: Ortalama ömür
A	: Elverişlilik
t_g	: Bir uydunun diğer uydu yerine yörüngeye yerleşme zamanı
p	: Uyduyu başarılı fırlatma olasılığı
n	: Bir sistem için gerekli uydu sayısı
t_r	: Uydu değiştirme zamanı
λ_p	: Temel elemanın hata oranı
λ_r	: Aktif değilken yedek elemanın hata oranı
λ_s	: Çalışırken yedek elemanın hata oranı
t_f	: Bozulma anı
R_{sw}	: Anahtarın güvenilirliği
R_A	: Yükselteç güvenilirliği

UYDULARDA GÜVENİLİRLİK İNCELEMESİ VE HABERLEŞME UYDULARININ TAKTİK SAHA İLETİŞİMİNDE KULLANILMASI

ÖZET

Uydu haberleşmesi son yıllarda büyük ilerlemeler kaydetmiş mobil haberleşme, bilgisayar ağları, endüstri çalışmaları, askeri haberleşme sistemlerinin gelişmesine sebep olmuştur.

Uydu haberleşmesi ile askeri alanda değişik hız yapılarına, değişik terminallere, farklı mesafelere sahip kullanıcıların iletişimi sağlanmaktadır. Bu iletişim aynı zamanda düşmanın karıştırma ve bastırma faaliyetleri altında olmaktadır. Uydu haberleşmesi ile dünyanın büyük bir bölümü kapsama alanına alınarak ses, veri ve görüntü haberleşmesi yapılmaktadır. Bu yapı mesafeden bağımsız, geniş band frekans spektrumu ile esnek, güvenilir ve uzun ömürlüdür.

Uydu sistemleri askeri alanda haberleşme, konum bilgisi, erken uyarı, meteoroloji, çevre koruma, gözlem ve hedef bulma konularında kullanılmaktadır. Ayrıca silah, sensör ve komuta merkezleri arasındaki haberleşmede uydu sistemleri kullanılarak silahların etkinliği artırılmaktadır.

Günlük yaşamımızın önemli bir parçası olan haberleşme ihtiyaçları uydular tarafından sağlanmaktadır. Uluslararası televizyon yayınları, yer belirleme sistemleri, kara, deniz, hava taşımacılığında özellikle ses, veri ve görüntü iletiminde, gözlem ve bilimsel amaçlarla uydular kullanılmaktadır.

Uydular haberleşmede büyük avantajlar sağlamaktadır. Ekonomik olarak uzun mesafeli haberleşme sağlarlar. İki kullanıcı arasındaki mesafe farklı olsa bile haberleşme maliyeti aynıdır. Geniş band olanakları ile kısa zamanda büyük miktarda bilgi gönderilebilir. Gelişmiş yerleşim birimlerinde olan hizmetler uydu yer istasyonu kurulan bir kırsal bölgede de elde edilebilir. Yeryüzü engellerinden etkilenmediği için karasal hatların ulaşamadığı yerlere ulaşır. Geniş kitlelere özellikle dijital yayınlarda çok sayıda televizyon kanalının ulaşmasını sağlar. Uyduların birbirine bağlanması ile çok geniş bir veri ağı oluşturulur. Karasal sistemlerin sunduğu tüm ses, veri ve görüntü hizmetlerini sunarlar.

Uydu haberleşmesinde kullanılan frekanslara ulaşmak için bilgi sinyallerinin uygun bir taşıyıcı frekans üzerine bindirilmesi gerekir. Bu işleme modülasyon denir. Bu işlem genlik, frekans ve sayısal modülasyon şeklinde olabilir.

Çok sayıda uydu yer istasyonu, mevcut bir uyduyu belli bir program içinde kullanması gerekmektedir. Uydu sistemleri, çok sayıda kullanıcıya çoklu erişim teknikleri ile hizmet verirler. Çoklu erişim; sabit ayrılmış sistemler, rasgele erişimli sistemler ve kontrollü erişim sistemleri olarak üçe ayrılır. Sabit ayrılmış sistemler de

kendi içinde frekans bölmeli çoklu erişim, zaman bölmeli çoklu erişim ve kod bölmeli çoklu erişim olarak üçe ayrılır. Frekans bölmeli çoklu erişimin karasal sistemlerin kullandığı ucuz teknoloji kullanma, ağ zamanlaması olmama gibi avantajları vardır. Buna karşın modülasyondan oluşan az miktarda karışım söz konusudur. Ayrıca kanal tahsisi ve gönderme güç kontrolü gerekmektedir. Zaman bölmeli çoklu erişimde ise kullanıcılar ayrılmış tüm spektrumu T saniyeden oluşan iletim zamanını belli aralıklara bölünmüş çerçeveler ile kullanırlar. Zaman bölmeli çoklu erişimin avantajları ise, FDMA da olan modülasyon gürültüsü daha azdır. Ayrıca tüm spektrumu belli aralıklarla tek kullanıcı kullandığından gönderme güç kontrolüne gerek yoktur. İletişim planları oluşturulması daha kolaydır. Fakat zaman bölmeli çoklu erişiminde ağ zamanlama senkronizasyonu, analog sinyallerin dijital sinyallere çevrilme zorunluluğu gibi dezavantajları vardır. Diğer bir sabit ayrılmış çoklu erişim tekniği de kod bölmeli çoklu erişimdir. Bu sistemde belli miktarda kullanıcı birbirine dik farklı kodlar kullanarak aynı iletim zamanında, aynı band genişliğini kullanabilir. Bu teknik daha güvenli, küçük anten ve gürültü gerektiren sistemlerde kullanılır. Ancak bu da karmaşık ve pahalı bir sistemdir.

Rasgele erişimli sistemler ise saf aloha, bölmeli aloha, kapasite ayırmalı aloha, tutma etkili aloha, seçici dışlamalı aloha olmak üzere beşe ayrılır. Kontrollü erişim teknikleri ise TDMA rezervasyonlu DAMA, bölmelendirilmiş aloha rezervasyonlu DAMA, bölmelendirilmiş yerel senkronize rezervasyon ve hibrit rezervasyon-rasgele erişim olarak dört grupta incelenir.

Uydu haberleşmesi uzun mesafeler arasında yapılır. İletim esnasında sinyal seviyesinin düşmesi alıcı tarafında bit hatası olasılığını artırır. Bu hata olasılığını azaltmak için kodlama yapılmaktadır. Kodlama özellikle gücü sınırlı olan, hata olasılığı düşük ve kanal kapasitesinin iyi kullanılması gereken sistemlerde kullanılır.

Uydular değişik şekil ve uzaklıktaki yörüngeler kullanarak hizmet verirler. Bunlardan bazıları alçak yörünge, güneş senkron yörünge, yarı senkron yörünge, molniya yörünge, jeosenkron yörünge ve derin uzay yörüngeleridir.

Uydu sistemlerinin güvenilirliği, verilen yaşam ömrü içinde doğru çalışma olasılığıdır. Elverişlilik ise uydu sisteminin çalışması gerekli zaman ile bozulma zamanı arasındaki farkın çalışması gereken zamana oranıdır. Uydu sistemlerinin ortalama ömrü veya ortalama hata yapma süresi, sistemin hizmete girmesinden sonra ilk hatanın olması ortalama süresidir.

Uydu sistemlerinin güvenilirliği seri ya da paralel olarak düzenlenmiş alt sistemlerin güvenilirliğinden elde edilir. Ayrıca sistemdeki anahtarların güvenilirlik hesabına katılması güvenilirliğin daha iyi hesaplanmasını sağlar.

Askeri haberleşme sistemlerinde, çeşitli milletlerden ve bu milletlerin deniz, hava ve kara kuvvetlerinden oluşan haberleşme bölgeleri birbirine bağlanır. Buradaki kullanıcılar piyade, zırhlı araçlar, hava araçları, gemiler, sensörler, radarlar, karıştırıcılar ve silah sistemlerinden bir ya da birkaçı olabilir. Bu kullanıcılar değişik hız yapılarına sahiptir ve çeşitli terminaller kullanırlar. Ayrıca haberleşme yapılacak mesafeler de çok farklıdır ve bir kısmı sürekli yer değiştirirler. Haberleşme düşman tarafından karıştırılır veya bastırılır. Ayrıca haberleşme öncelikleri ve güvenlik kısıtlamaları vardır. Böyle bir haberleşme ortamı karmaşık bir haberleşme yapısı gerektirir.

Bu haberleşme yapısı; çoklu ortam haberleşmesi, mobil ağ yapısı, modüler ve esnek bir yapı, karasal olmayan bir ağ, yatay ve dikey haberleşme, yüksek devre kapasitesi, geniş band, ağ güvenliği, hava ve arazi koşullarına dayanıklılık gereklerini sağlaması gerekir.

Körfez savaşında uydu haberleşmesi ile bölgeye kısa sürede gelen yaklaşık 540.000 askerin haberleşme ihtiyaçları mükemmel seviyede sağlanmıştır. Operasyonun en hızlı geliştiği zamanlarda günlük 700.000 telefon konuşması, 152.000 mesaj trafiği karşılanmıştır. Ayrıca 30.000'den fazla telsiz frekansı başarılı bir şekilde yönetilmiştir. A.B.D. savaşı uydular yardımıyla 7.000 km. uzaktan yönetmiştir. Etkin haberleşme sistemleri Irak'ın haberleşme yapmasına imkan vermemiştir. Modern uydu haberleşme sistemleri savaşın kazanılmasında önemli rol oynamıştır.

Uydu haberleşmesinde gelişmeler gelecekte de sürecektir. Tek noktadan geniş coğrafi alanlardaki çok noktaya yayın konusunda uydular çok avantajlıdır. Birçok uygulama için servis sağlayıcılar uydu, fiber optik kablo, mikro dalga telsizler, hücresel ve diğer mobil uygulamalar gibi alternatiflere sahiptir. Bundan dolayı uydu haberleşmesi diğerleri ile yarışmak, gelişmek zorundadır. Bazı uygulamalarda birkaç alternatif birleştirilerek daha az maliyetli servis sağlanır.

Özellikle uluslar arası sistemlerde iletim hatları için son noktaya ulaşma problemi çok önemlidir. Ülkeler arası hatlarda fiber optik kablo bitiş noktası trafik noktalarından uzaktır. Ülkeler genellikle diğer ülke sınırları içinden geçen kablo hattını kullanmak istemezler. Uydu haberleşmesi bu son mil problemini ortadan kaldırır.

Fiber optik iletim hatları genel olarak gelişmiş bölgelerden gelişmekte olan bölgelere doğru çekilir. Buna rağmen uydu haberleşmesi bütün bölgeler için eşit sistem kurma imkanı sağlar.

Noktadan noktaya bağlantılar için fiber optik kablo mu yoksa uydu haberleşmesi mi daha avantajlı olduğu gerekli maliyet, mesafe, kullanıcı sayısı ve özelliklerine göre karar verilir.

Uydu haberleşmesinde daha geniş bir frekans band genişliği, dolayısıyla daha fazla bilgi akışı sağlayan Ka bandının (20-30 GHz) kullanılması da büyük imkanlar sağlar.

Uyduların birbirleri ile bağlanması ile kapsama alanları büyük ölçüde artacaktır. Bir uydunun kapsama alanı uygun olarak bağlanan tüm uyduların kapsama alanlarının toplamına eşit olur. Uyduların birbirleriyle gruplandırılması ile de farklı hizmet veren servisler birbirine bağlanarak geniş bir ağ yapısı elde edilir.

Sonuç olarak uydu haberleşmesindeki gelişmeler uydu sistemlerini haberleşme sistemlerinin en önemli parçası yapmıştır. Mevcut uydularımıza yenileri de eklenerek şimdiki haberleşme yapımız daha da genişleyecek, bilgiye hızlı ulaşmanın ve etkin bir şekilde kullanmanın çok önemli olduğu günümüzde uydu haberleşmesi ülkemizin gücüne güç katacaktır.

RELIABILITY IN SATELLITES AND COMMUNICATION SATELLITES USAGE IN TACTICAL AREA

SUMMARY

In recent years satellite communications have developed very fast especially in mobile communications, computer networks, industry studies and military communications systems.

In military communications, users with different speed, terminals and distance communicate with satellites. In the same time military communications take place under enemy suppress and interference activities. Voice, data and images can be transferred easily with satellites. This structure is independent from distance, reliable, elastic and has long life.

Civilian communication systems can be separate into two; public and private communications systems. Satellites are used in our daily life very much. Especially in international television broadcasting, global positioning systems, transportation, navigation, meteorology, voice, data and video communication, observation and science.

Satellites have many advantages in communications. They provide economic, long distance communications. Even if distance between two user is different, communication cost is the same. They can transmit huge data sources by broadband characteristics.

Because they are not effected by earth obstacles they can reach places which terrestrial lines cannot. Many people get digital television broadcast by satellites. A huge computer network becomes by intersatellite links. Satellites can give all terrestrial services like voice, data and video transmission.

Voice, data and video signals must be overlapped on a carrier frequency to be transmit on higher frequencies with satellite services. This process is called as modulation. There are three kinds of modulation like amplitude, frequency and digital modulation.

Many earth stations use a satellite service with some programs. These programs are multiple access techniques. Multiple access techniques are fixed reserved systems , random access systems and controlled access systems. Fixed reserved systems are divided into three as frequency division multiple access (FDMA), time division multiple access(TDMA) and code division multiple access(CDMA). FDMA has some advantages like using cheap systems which are used by terrestrial lines and not need network synchronization. But FDMA has some signal interference from modulation. FDMA also needs sending power control and channel reservation. TDMA has advantages too. It has low modulation noise. A user uses all frequency spectrum in a period so it doesn't need a sending power control. Making communication plans are easier than others. Also TDMA uses digital techniques. It has some disadvantages too. It must have a network time synchronization and analog to digital signal transformation. With code division multiple access (CDMA),

network stations transmit continuously and together on the same frequency band of the channel. There is interference between the transmission of different stations and this interference is resolved by the receiver which identifies the 'signature' of each transmitter. The signature is presented in the form of a binary sequence, called a code, which is combined with the useful information at each transmitter. CDMA is complex and expensive system.

Random access techniques are pure aloha, slotted-aloha, reserved-aloha, hold effective-aloha, selective rejective-aloha. Controlled multiple access techniques are TDMA reserved DAMA, Slotted aloha reserved DAMA, Slotted local synchronized reservation and hybrid reservation-random access.

Satellites have long distances to communicate. While they are transmitting signal, signal level decreases. Because of low signal level there are some bit errors. To decrease this bit error rate satellite systems must make coding. Coding is made by systems which have limited power, optimum channel utilization and must have low error rate.

Satellites have orbits with different shape and distances. Some of them are low earth orbit, sun synchronous orbit, semi-synchronous orbit, high elliptic orbit, molniya orbit and geosynchronous orbit.

Reliability of a system is defined by the probability of correct operation of the system during a given lifetime. The reliability of a complete satellite communication system depends on the reliability of its two principal constituents- the satellite and the ground stations. Reliability of a complete satellite system can be calculated by serial or parallel constituents' reliabilities. Reliabilities of switches can be added too.

The availability is the ratio of the actual period of correct operation of the system to the required period of correct operation. The availability of a complete satellite communication system depends not only on the reliability of the constituents of the system but also on the probability of successful launching, replacement time and the number of operational and back-up satellites.

In the military communications there are different nations' units and these nations' army, navy and air components. These users are infantry, armoured vehicles, planes, ships, sensors, radars, interferers and weapon systems. These users have different speed structures and terminals. Communication distances are also very different. Users are always change their places. Enemy communication systems suppress and interfere communication systems. There are also communication priority and secrecy levels. In this tactical area communication there must be a complex satellite and communication structure.

This communication structure must have multiple environment, mobile network structure, modular and elastic structure, non-terrestrial structure, vertical-horizontal communication, high channel capacity, broadband, network security. They must be suitable for weather and terrestrial conditions.

Satellite communications meet 540,000 A.B.D. soldiers' communication needs exactly in the Gulf War. They made about 700,000 telephone speaking and 152,000 message transmission daily in the most intensive operation times. They also managed about 30,000 radio frequencies without any problem. A.B.D. managed this war from 7,000 km. distance by the help of satellite communications. Effective communication systems suppressed Iraq's communication systems so they couldn't communicate. Modern satellite communication systems have a great role in winning the war.

Satellite communication systems will develop in the future. Satellites have great advantages in one point to multi point broadcasting. Servers can use satellites, fiber optic cables, microwave radios, cellular and other mobile systems. For this reason

satellites must compete with others. In some applications for cost effective result some alternatives may be combined.

There is a last-mile problem in fiber optic lines especially in international systems. Fiber optic ending points in international lines have some distance from traffic points. A country may not want a fiber optic cable passing through another country. Satellite communication has not such a problem.

Fiber optic cables are generally pass through from developed areas to developing areas. But satellite communications give equal system forming probability for all the regions.

For point to point connections fiber optic cables and satellites can be used. To decide one of them cost, distance, user number and properties must be thought.

In satellite communications using Ka-band (20-30 GHz) has a lot of advantages too. It has wider bandwidth and data transfer capacity.

Combined satellite systems give wider coverage areas. One satellite's coverage area is coverage areas of all suitable satellites' coverage areas. Combining satellites with different services gives wide network structure.

As a result developments in satellite systems make them the most important part of communication systems. By adding more new satellites to our communication structure will develop. Satellite communication will give more power to our country in the future.

1. GİRİŞ

Geçen yüzyılın son çeyreğinde toplumlar, medya, televizyon, mobil haberleşme, bilgisayar ağları ve veri haberleşmesi, endüstri çalışmaları, büyük veri bankaları ve askeri komuta kontrol sistemleri gibi birçok alanda büyük yeniliklerle karşılaşmışlardır. Böyle bir ortamda uydular, hem ulusal hem de uluslararası ortamda çok güçlü ve maliyeti etkin haberleşme sistemleridir. Bu anlamda uydu haberleşmesi artık iletişim sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır.

Bilgiye hızlı erişim, etkin kullanım, gerekli yerlere çok hızlı aktarım ve bu bilgiler ışığında hızlı, doğru hareket edebilme günümüzün gereğidir ve bunlar da uydu teknolojileri ile mümkündür. Uydu teknolojilerinin haberleşmede kullanımı 6 Nisan 1965'te Comsat'ın ilk uydusu Early Bird, Cape Canaveral üssünden fırlatılması ile başlamıştır [1]. Bunu 1972'de Anik ve 1974'te Westar izlemiştir. 1976'da Amerikan Ordusu için Comsat, Marisat Uydusu fırlatmıştır. 1979'da deniz haberleşmesi için Birleşmiş Milletler Uluslararası Deniz Uydu Organizasyonu Inmarsat'ı uzaya göndermiştir. Günümüze kadar haberleşme açısından dünya çapında ortak televizyon yayını, telefon, veri, görüntü iletimi, askeri amaçlı ses, veri iletimi sağlamak ve ticari amaçlarla birçok uydu gönderilmiştir. Bugün ülkemizde Türksat 1B, Türksat 1C, Türksat 2A olmak üzere üç adet uydusu bulunmaktadır.

Uydu haberleşmesi ile insanlığa büyük kolaylıklar sağlanır. Haberleşme uyduları ile ekonomik uzun mesafeli bilgi akışı sağlanır. Kullanıcılar arası mesafe farklı olsa bile haberleşme maliyeti değişmez. Genişband olanakları ile kısa zamanda büyük miktarda bilgi alışverişine olanak sağlanır. Kırsal kesimler teknolojik gelişmelere uydu haberleşmesi ile daha çabuk ulaşır. Geniş kitlelere televizyon yayını ile eğitime katkıda bulunulur. Uyduların birbirine bağlanması ile geniş bir bilgi ağı oluşturulur. Karasal hatların sunduğu ses, veri ve görüntü hizmetleri sunulur [1,5].

Askeri haberleşmenin ise değişik karakteristikleri vardır. Kullanıcılar değişik hız yapılarına sahiptir. Bir kısım kullanıcı süpersonik hızda ilerlerken bir kısmı çok yavaş hareket edebilir hatta sabit sistemler olabilir. Kullanıcılarda değişik terminaller

vardır. Bunlar video kamera, radar, termal kamera, tek kanal telsizler ve bilgisayarlar olabilir. Askeri haberleşme sistemlerinde mesafelerde farklıdır. Küresel, bölgesel veya taktik sahada haberleşme olur. Bu mesafeler birkaç metre ile binlerce kilometre arasında olabilir. Haberleşme için fiber optik, hava veya deniz gibi iletim ortamları kullanılır. İletişim bölgeleri hızla değişebilir. Düşman baskısı altında haberleşme gerekir, karıştırma ve bastırma sistemleri ile karşılaşılabilir, aynı anda yüksek haberleşme trafiği olabilir. Ayrıca güvenlik kısıtlamaları ve öncelikler söz konusudur [15].

Askeri alanda komuta, kontrol ve haberleşme sistemlerini etkin olarak kullanmak savaşta kazanmanın en önemli kriterlerindendir. Genişleyen savaş alanı, teknolojiye yenilikler, daha fazla hareketlilik, haberleşme planlarında uyduların önemini artırmıştır. Teknolojinin hızla gelişmesine rağmen haberleşme sistemleri bazı kısıtlar dolayısıyla bu hıza ayak uyduramamıştır. Bu kısıtlar, frekans spektrumu yoğunluğu ve radyo dalgalarının fiziksel yayılma sınırlarıdır. Uzun mesafeli telsiz görüşmeleri için ayrılan frekans, frekans yoğunluğu problemini ortaya çıkarır. İhtiyaçlar kullanılan, uygun frekans spektrumunu aşar. Ayrıca esneklik, emniyet, güvenilirlik gerekleri telsiz haberleşmesini zorlaştırır.

Taktik saha uydu haberleşmesi ile bu sınırlamalar ortadan kalkar. Bir uydu tekrarlayıcısı ile dünyanın üçte birine görüş hattı haberleşmesi sağlanır. Uydu haberleşmesi ile daha önceden ulaşılamamış mesafelerde taktik saha haberleşmesi sağlar. Geniş frekans spektrumu ile uydu sistemleri haberleşmenin çok yönlü olarak gelişmesini sağlar. Uydu haberleşmesi güvenilir, esnek ve uzun ömürlüdür. Uydu bağlantılı sistemler daha önceden kullanılan görüş hattı, troposfer, yüksek frekans ve frekans modülasyonlu cihazlara büyük katkıda bulunur. Çok geniş band genişliği ile bilgisayar bağlantılı haberleşme ağını kurmak mümkün olur.

Uydular askeri alanda haberleşme, konum bilgisi, erken uyarı, meteoroloji, çevre koruma, gözlem ve hedef bulma konularında büyük kolaylıklar sağlamıştır. Uydular ile günümüz ve gelecekteki hareket ihtiyaçları için gerekli tüm ses, veri, faks ve görüntü iletimi sağlanacaktır. Birliklerin bir merkezden coğrafi konumlarının otomatik ve sürekli olarak izlenmesi sağlanacaktır. Uydu sistemlerinin esnek kullanım yapıları ile yüksek güvenilirlikli, uzun ömürlü haberleşme altyapısı kurulabilecektir. Silah, sensör ve komuta merkezleri arasında gerçek zamanlı veri haberleşmesi ile silahların kullanım etkinliği artırılabilecektir.

Taktik saha uydu haberleşmesi, uydu sistem giriş noktası, yerel alan ağları ve telsiz ve bilgisayar destekli mobil kullanıcılarla kurulacaktır. Mobil kullanıcılardaki gelişmiş telsizlerle ses, veri ve görüntü aktarımı sağlanabilecektir.

Karasal sistemlerle de bu imkanlar sağlanabilse de etkin olarak kullanılamamaktadır. Uydu haberleşme sistemleri karasal sistemlerle karşılaştırılamayacak kadar büyük alanları kapsamaktadır. Bu sistemler sabit uydu servisleri, mobil uydu servisleri, uydu yayın servisleri, uydudan gözlem servisleri, bilimsel uydu servisleri ve konum belirleme servislerinden oluşmaktadır.

Uydu sistemlerinin güvenilirliği de önemli bir konudur. Sistemin güvenilirliği, verilen yaşam ömrü içinde doğru işlem yapma, çalışma olasılığıdır. Uydu haberleşme sistemlerinin güvenilirliği iki temel bileşeni olan uydu ve yer istasyonu güvenilirliğine bağlıdır.

Elverişlilik ise sistemin gerçek düzgün çalışma periyodunun, düzgün çalışması gereken periyoda olan oranıdır. Uydu sistemlerinde elverişlilik, sadece bileşenlerin güvenilirliği ile değil aynı zamanda başarılı fırlatma olasılığı, yerleşme zamanı, çalışan ve yedekte bekleyen uydu sayısına bağlıdır [14].

Gelişen teknolojiler ve artan haberleşme ihtiyaçları uydu sistemlerini kullanmayı zorunlu hale getirmiştir. Hızlı kurulum ve maliyetin daha uygun olması, mevcut haberleşme sistemleri gereklerine cevap verebilmesi, günümüzde meydana gelen savaşlardaki kullanım örnekleri uydu sistemlerinin ne derecede önemli olduğunu ortaya koymuştur. Ülkemizin bulunduğu coğrafi bölgede daha fazla etkin olabilmesi için uydu sistemlerine sahip olmalı ve etkin bir şekilde kullanmalıdır.

Bu tez çalışmasında uydu haberleşmesinin temelleri, modülasyon teknikleri, kodlama yapılması, çoklu erişim teknikleri, uydu yörüngeleri, taktik saha haberleşmesi hakkında bilgi vermekte olup ayrıca uydularda güvenilirlik kuramının uygulamasına yönelik uydu güvenilirliğinin matematiksel incelemesi yapılmıştır.

2. UYDU HABERLEŞMESİNİN TEMELLERİ

Bütün ülkeler yeni yüzyılla birlikte diğer ülkelerden daha güçlü ve onlar üzerinde söz sahibi olabilmek için bilgiye ulaşmak ve etkili kullanmak için büyük harcamalar yapmaktadırlar. Bunun için haberleşme ve dijital bilgi sistemlerinde gelişme sağlamak zorundadırlar. Teknolojik gelişmeye paralel bilgi hız ve kapasitesinin artması daha fazla bilgiye daha kısa süre içinde işlem yapılması, bilgilerin etkin emniyetli, güvenilir ve ekonomik olması uydu teknolojileri ile olabilecektir.

Haberleşme uydusu temelde bir telsiz aktarıcısı gibidir. Sinyaller yer anteninden gönderilir, güçlendirilir ve tekrar yere geri döner. Uydunun gücü, sağladığı büyük haberleşme trafiği ve sinyalleri dünyanın kapsadığı bölgesindeki herhangi bir kullanıcıya göndermesinde yatar. Bu bölümde haberleşme sistemlerinin ilişkileri temel özellikleri tanıtılacaktır.

2.1 Haberleşme Sistemleri

Haberleşme sistemlerini kullanıcılar açısından ikiye ayırılır:

1) Sivil sistemler genel olarak kamu ve özel sektör olarak iki türdür.

a) Kamu Sektörü: Bütün nüfusun katıldığı, kısa vadede kar beklenmeyen, herkesin faydalandığı sistemlerdir. Bunları üç şekilde sınıflandırabiliriz:

- Stratejik İletişim Sistemleri
- PTT/Telekom Sistemleri
- Mobil sistemler

b) Özel Sektör: Özel sektörün amacı hem hizmet hem de kardır. Sistemlerinde gerekli gördüğünde köklü değişiklikler yapar. Daha fazla kar elde etmek için rekabet etmek durumundadır.

2) Askeri Sistemler: Askeri sistemlerde öncelikler sivil sistemlere göre farklıdır. Güvenlik ve devamlılık çok önemlidir. Rütbelere görede öncelikler ve yetkilendirme söz konusudur. Askeri haberleşme sistemlerini de 2 gruba ayırabiliriz:

a) Karasal Sistemler: Genel olarak haberleşme sistemi bu sistemler üzerine kurulmuştur. Kamunun stratejik sistemlerinden de yararlanırlar.

b) Uzay Sistemleri: Uzay sistemleri Karasal sistemlerin kapsayamayacağı mesafelere ulaşırlar. Uydular vasıtasıyla haberleşmede globalleşme sağlarlar. Uzay sistemleri şunlardır:

- Jeosenkron uydular (yere göre sabit)
- Mobil uydular (yere göre hareketli)
- Gözlem uyduları
- Meteoroloji uyduları
- Bilimsel uydular
- GPS Uyduları (küresel konum belirleme uyduları)
- Askeri uydular

2.2 Haberleşme Uyduları ve Tarihsel Gelişimi

Uyduların kullanımına ilişkin tarihsel gelişimi aşağıdaki gibidir.

- 6 Nisan 1965'te Comsat'ın ilk uydusu Early Bird Cape Canaveral'dan fırlatıldı. Bununla birlikte küresel uydu haberleşmesi başlamış oldu.
- 1972'de Kuzey Amerikan ulusal uydusu ANIK Kanada tarafından gönderildi.
- 1974'de ilk Amerikan ulusal haberleşme uydusu WESTAR uzaya gönderildi.
- Uydular televizyon yayınlarını dünyanın geniş bölgelerine yayma imkanı verdi. Eğer güçlü uydular kullanılırsa televizyon yayınları yüz milyonlarca insanın evine ulaşabilecekti.
- 1976'da ABD uydu üzerinden ilk televizyon yayınına başladı.
- 1976 Şubat'ta Comsat, Amerikan ordusu için haberleşme sağlayacak Marisat Uydusu'nu fırlattı.
- 1979'da Birleşmiş Milletler Uluslar arası Deniz Uydu Organizasyonu Inmarsat Uydusu'nu deniz haberleşmesi için fırlattı.

Haberleşme uyduları Tablo 2.1'deki gibi sınıflandırılabilir [1]:

Tablo 2.1 Haberleşme Uydularının Sınıflandırılması

HABERLEŞME UYDULARININ SINIFLANDIRILMASI			
UYDU SINIFLARI	ÖRNEKLERİ	YER İSTASYONLARI	FONKSİYONLARI
Uluslar arası uydular	EARLY BIRD INTELSAT II INTELSAT III INTELSAT IV INTELSAT Iva INTELSAT V Rus MOLNIYA STATSIONAR Avrupa'nın SYMPONIE	Büyük, pahalı,kararlı uluslar arası telefon haberleşmesi yönetimi	Dünya çapında ortak taşıyıcılı telefon ve veri devreleri Noktadan noktaya televizyon yayını
Geleneksel Ortak Taşıyıcılı Ulusal Uydular	Kanada ANIK Batı WESTAR RCA's SATCOM AT&T's and GT&E COMSTAR Endonezya'nın PALAPA ARABSAT	Büyük ortak taşıyıcılı yer istasyonları Orta seviyeli özel yer istasyonları 10-4.5 m. Sadece alıcı tv yer istasyonları	Telefon ağlarını birleştirme Ucuz uzak mesafe kiralık devre sağlamak Noktadan noktaya televizyon yayını Yerel yayın istasyonları,CATV ve müzik yayını
Ulusal Çoklu Erişimli uydular	SBS (uydu iş sistemleri)	5-7 m. 12/14 GHz Çatılarda kurulu	telefon,veri ve görüntü yayını hükümet ve ağ paylaşımı için
TV Yayın Uyduları	Japon Tv Yayın Uydusu JBS Kanada Deneysel Uydu CTS Nasa'nın Deneysel Uydusu ATS-6	Büyük Gönderme İstasyonları Ucuz evlerde kullanılan almaç antenler	Evlere direkt Tv yayını
Mobil Terminal Uyduları	MARISAT MAROTS Askeri Uydular	Çok küçük, gemiye monteli veya portatiftir.Ucuz düşük kapasiteli yer istasyonlarıdır.	Askeri birimlere araçlara,gemilere data ve telefon hattı sağlar
Özel Amaçlı Uydular	havacılık	Hava aracı anteni	hava haberleşmesi ve navigasyon
Araştırma Uyduları	NASA'nın ATS Kanada'nın CTS	genelde küçük	Frekans yayılması,uydu kurulması ve uydu uygulamaları hakkında araştırma

2.3 Uyduların Haberleşmede Avantajları

Uyduların haberleşmedeki avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Ekonomik olarak uzun mesafe haberleşme sağlar.
- İki kullanıcı arasında mesafe farklı olsa da haberleşme maliyeti aynıdır.
- Geniş band olanakları sayesinde kısa zamanda büyük miktarda bilgi gönderebilir.
- Uydu yer istasyonu kurulmuş bir şehir veya kırsal kesimde de hizmet olanağı sağlar. Yeryüzündeki engellerden etkilenmezler.
- Karasal hatların ulaşamadığı izole edilmiş bölgelere haberleşme imkanı sağlar.
- Okyanus altındaki kablolarla alternatif olmuştur.
- Geniş kitlelere televizyon yayını sunar.
- Uyduların bir birine bağlanması ile geniş veri ağı oluşturulur.
- Karasal hatların sunduğu ses, data ve video hizmetlerini aynen sunabilirler.

2.4 Uyduların Karasal Sistemlerle Karşılaştırılması

Uyduların karasal sistemlere göre şu şekilde karşılaştırabiliriz [7]:

- Karasal sistemlerle aynı hizmetler alınabilir.
- Kullanıcı terminalleri karasal sistemlere göre çabuk kurulurlar.
- Karasal altyapıdan bağımsızdırlar.
- Kullanıcı başına maliyet azdır.
- Hava şartları ve çevre koşullarından bir miktar etkilenebilirler.
- Özellikle ses iletiminde gecikme görülebilir.

2.5 Uydu Sistemleri

Uydu sistemleri uzay bölümü, kontrol bölümü ve yer terminali bölümü olarak üç kategoride incelenirler:

- **Uzay Bölümü:** Uydunun kabiliyetleri ve fonksiyonlarının olduğu uydu yükü ve ana parçadan oluşur.
- **Kontrol Bölümü:** Bu bölüm uydunun yönlendirildiği platform kontrolü, yük kontrolü ve şebeke kontrolü yapıldığı genel sistemi işletir.
- **Yer Terminal Bölümü:** Bu uyduya sinyal gönderen ve uydudan sinyal alan yer teçizatından oluşur. Bir mobil sistem, taşınabilir sistem olabilir.

2.6 Kullanılan Frekans Aralıkları

Haberleşme uyduları özel amaçlar için kurulmuş radyo frekanslarını kullanarak bilgiyi iletirler. Kamu, askeri, deniz, hava ve kara mobil sistemleri kendileri için ayrılmış frekansları kullanırlar.

Radyo frekanslarının belli bir alanına band genişliği denir. Radyo frekans alanının tümüne Elektromanyetik Spektrum denir. Spektrumda frekans bantları İsviçre'nin Cenova kentinde Uluslararası Haberleşme Birliği (ITU) tarafından çeşitli amaçlar için tahsis edilirler. Tablo 2.2'de tahsis edilen frekans bantları gösterilmektedir.

Haberleşme uydularında farklı frekanslar kullanılır. En çok kullanışlı RF frekansları 300 MHz-300 GHz arasındaki mikrodalgada bulunur. Askeri uydu haberleşmesinde frekans bantları Ultra Yüksek Frekans (UHF), Süper Yüksek Frekans (SHF), Ekstra Yüksek Frekans (EHF) kullanılır.

UHF bandının alçak kesimlerini kullanan elektronik cihazların nispeten daha ucuz olması bu frekansların daha fazla kullanılmasını sağlar

Askeri Tek kanal uydu haberleşmesinde UHF bandı kullanılır. Gelecekte geniş band ihtiyaçları için daha yüksek frekanslar kullanılacaktır. Askeri araçlar üzerinde, gemilerde ve uçaklarda daha çok UHF bandını kullanır [1].

Tablo 2.2 Frekans Tahsis Çizelgesi

FREKANS	KISALTMA	ANLAMI
3-30KHz	VLF	Çok Alçak Frekans
30-300 KHz	LF	Alçak Frekans
0.3-3 MHz	MF	Orta Frekans
3-30 MHz	HF	Yüksek Frekans
30-300 MHz	VHF	Çok Yüksek Frekans
0.3-3 GHz	UHF	Ultra Yüksek Frekans
3-30 GHz	SHF	Süper Yüksek Frekans
30-300 GHz	EHF	Ekstra Yüksek Frekans

Frekans bandlarının kullanım biçimi de aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Frekans Bandlarının Kullanım Biçimi

FREKANS ARALIĞI (GHz)	BAND GÖSTERGE HARFİ
0.225-0.39	P
0.35-0.53	J
0.39-1.55	L
1.55-5.2	S
3.9-6.2	C
5.2-10.9	X
10.9 -36.0	K
15.35-17.25	Ku
36-46	Q
46-56	V
56-100	W

2.7 Band Genişliği

Bir uydu transponderi, radyo frekansının belirli, sınırlı bandındaki sinyallerini almak ve göndermek için yapılmıştır. Frekansların bu sınırlı bandının sağladığı Hertz sayısı transponderin radyo frekans band genişliğini tanımlar. Transponder band genişliği büyüdükçe, yüksek oranlarda bilgi taşıyacak kanal kapasitesi de artacaktır.

Gönderilen sinyal gücü, anten kazancı, almanın etkinliği gönderme kanalındaki gürültüyü bastırarak kadar kuvvetli olmalıdır. Transponderin band genişliği arttıkça gürültü miktarı da artacaktır. Geniş band, yüksek kanal kapasitesi ile aynı anlamda kullanılmaktadır.

Uydu üzerinde çoğu haberleşme trafiği telefon görüşmeleri için ayrılmıştır. Bir transponderi sadece telefon görüşmeleri için ayırmak akılcı değildir. Şimdiki transponderler bir defada her iki yöne binlerce ses devresi aktaracak şekilde geniş band sağlamaktadır. Geniş band çok şeritli otoban gibi büyük haberleşme trafiği sağlar.

2.8 Antenler

Antenler, uydu sistemlerinin temel parçalarıdır. Uyduların üstünde ve yer terminalinde bulunurlar. Yer terminalinden uyduya giden sinyale yukarı link (uplink), uydudan yer terminalindeki antene gelen sinyale aşağı link (downlink) denir. Yukarı ve aşağı link frekansları daima farklıdır. Çünkü yer terminalindeki güçlü sinyal uydudan gönderilen daha zayıf sinyal üzerinde baskı yapar. Ayrıca yer terminalindeki büyük anten daha yüksek frekanslarda gönderme yapabilir. Yine yer antenleri gönderilen daha düşük ve zayıf frekanslı aşağı link sinyalini daha kuvvetli toplama avantajına sahiptir.

Yer terminal antenleri değişik ölçü ve şekillerde olabilir. Temel anten yönlendirmesiz veya kamçı anten olabilir. Bu antenler her yöne yayın yapar. Uydu haberleşmesi için kamçı anten sadece alma amaçlı kullanılır. Kamçı anten iki yollu uydu haberleşmesi için kullanılmaz. Çünkü anten kullanışlı bir link sağlamak için uyduya yeterli güçte sinyal yönlendiremez.

Uydu anteni mikro dalgalarda çalışır ve anten ölçüsü dalga uzunluğuna göre daha iyi olması gerekir. Bundan dolayı açıklık (aperture) tip anten sıkça kullanılır. Antenin çevresindeki ışınlar paralel olarak düşünülebilir ve enerji antenin dar açılımına eşit çapta bir silindire sınırlıdır.

En çok kullanılan uydu yer anteni parabolik antendir ve radyo dalgalarını odaklayan bir çanak şeklindedir. Uydu antenlerinin iki temel görevi vardır. Birincisi yer üzerindeki kullanıcıları desteklemek için haberleşme sinyallerini almak ve göndermek, ikincisi yer kontrol sistemine uydunun yörüngedeki düzenli yerini koruduğunu doğrulayan izleme sinyallerini iletmektir. Bir antenin en önemli özelliği kazancıdır. Anten kazancı uydudan alınan ve gönderilen enerji yöneltme kabiliyetinin ölçümüdür. Daha yüksek kazanç yüksek haberleşme kapasitesi ve performans sağlar.

2.9 Yörüngeler

Uydular gökyüzünde yeryüzünün çekim kuvvetine karşılık yeryüzü etrafında dönerek oluşan merkezkaç kuvvetinin dengelenmesi sayesinde kalır.

Yörüngeler yükseklik, eğim, güneş ile senkronizasyon gibi değişik parametrelere bağlı olarak aşağıdaki gibi kategorilere ayrılabilir:

- a) Alçak (Low Earth) Yörünge
- b) Güneş Senkronlu Yörünge (Sun Synchronous Orbit)
- c) Yarı Senkron Yörünge
- d) Eliptik Yörünge
- e) Molniya Yörünge
- f) Jeosenkron Yörünge
- g) Uzay Yörüngesi

3. MODÜLASYON

Radyo frekans iletim hattı üzerinden iletilen bilgi ses, veri ve video sinyali olabilir. Bu sinyallerin herbiri iletim için uygun olması için modüle edilmesi gerekir ki buna temelband sinyal işleme denir. İşlenen bu sinyaller daha yüksek frekanslardaki taşıyıcı dalga üzerine konur. Sinyal taşıyıcıyı modüle eder. Bu işlemle iletim için frekans çevirimi yapılmış olur. Bu gönderme tarafındaki modülasyon işleminin alıcı tarafında temelband sinyalini yeniden elde etmek için demodülasyon işlemi eşlik etmelidir. Modülasyon işlemi yapan devreye modülatör, demodülasyon işlemi yapan devreye demodülatör denir. Dijital sistemler için bu devre modülasyon ve demodülasyon için modemdir.

İnsan kulağı 20 kHz'e kadar olan frekansları alabilir. Buna rağmen konuşma için frekans aralığı telefon cihazıyla ve iletim ağı ile 300-3400 Hz arasındadır. İletim için standartlara göre ses sinyali için sinyal gürültü oranı 50 dB'den iyi olmalıdır.

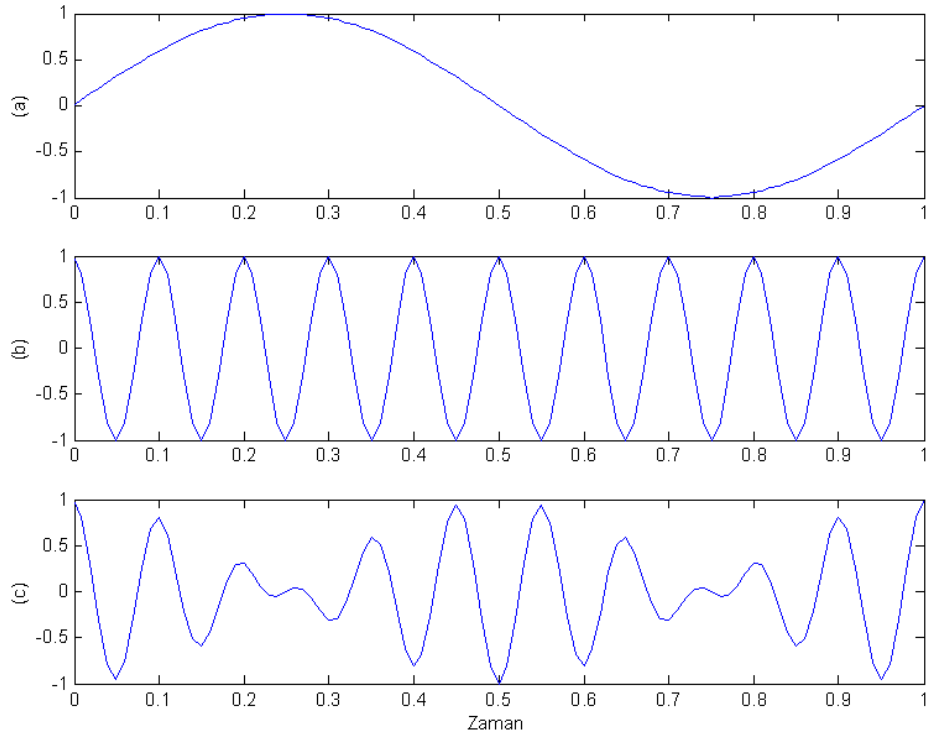
Veri sinyalleri darband veri (≤ 300 bit/saniye), ses-band verisi (300 bit/saniye-16 kbit/saniye), genişband veri (>16 kbit/saniye) olarak üçe ayrılır.

3.1 Genlik Modülasyonu

Genlik modülasyonu uydu bağlantısında kullanılan bir modülasyon işlemi değildir. Fakat Frekans Bölmeli Çoklayıcı (FDM) kullanan kanallar birleşmeden önce kullanılabilir.

Bir taşıyıcı dalganın genlik modülasyonu yapabilmesi için, taşıyıcının genliği modüle eden sinyalin frekansı hızına uygun olarak, onun genliğindeki değişme kadar aynı anda değişmelidir. Eğer modüle eden sinyal saf sinüs dalgası ise taşıyıcı genliği şekil 3.1'deki gibi olmalıdır.

Pratikte modüle eden sinyal temelbandında heran frekans elemanları içerir. Buna rağmen herhangi bir modüle eden sinyal şekil 3.1(c)'deki gibi temel frekans ve harmoniklerinden oluştuğu kabul edilir.



Şekil 3.1 Genlik Modülasyonu; (a) Bilgi Sinyali (b) Modüle Edilmemiş Taşıyıcı (c) Modüle Edilmiş Taşıyıcı

Eğer bir sistemde taşıyıcı; V_c tepe genliğine, ω_c radyan/saniye açısal frekansa sahipse ve V_m tepe genliğine ve ω_m açısal frekansa sahip modüle eden sinyale göre genlik modülasyonu :

$$V(t) = (V_c + V_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

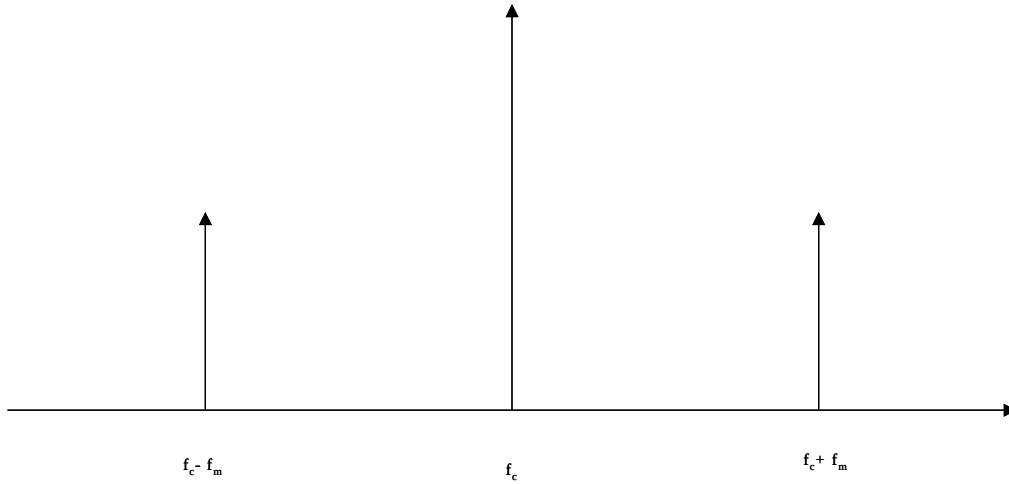
$$= V_c (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \quad (3.1)$$

Burada modülasyon endeksi $m = V_m / V_c$ 'dir.

Şekil 3.2' den çıkarılacağı gibi bilgi göndermek için gereken bandgenişliği :

$$(f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m \quad (3.2)$$

olur.



Şekil 3.2 Sinüs İle Modüle Edilmiş Genlik Modülasyonlu Bir Taşıyıcının Frekans Spektrumu

3.2 Frekans Modülasyonu

Frekans modülasyonu (FM) uydu haberleşmesinde yoğun olarak kullanılır. FM örneklerinden bazıları çoklanmış telefon, her taşıyıcıya bir kanal sistemleri, televizyon yayınlarıdır. Frekans modülasyon sistemleri daha çok analog temelband sinyalleri olan durumlara daha uygundur. Aynı zamanda basit alıcıların gerektiği dijital iletimde de avantajlıdır.

Frekans modülasyonunda taşıyıcının frekansı, bilgi sinyaline göre değişir. Frekans modülasyonu, aç modülasyonuna dahildir. Aç modülasyonu şu şekilde gösterilir:

$$E_c(t) = A \cos (\omega_c t + \theta(t)) \quad (3.3)$$

Modüle eden sinyal $m(t)$ sinyalin fazını $\theta(t)$ değiştiriyorsa dalga faz modülasyonlu denir. Fazın türevini alınırsa $d\theta/dt$, dalganın açısal frekansı elde edilir.

Frekans modülasyonu; faz açısının türevi $m(t)$ sinyaline göre değiştirildiğinde elde edilir. $m(t) = \beta \sin (\omega_m t)$ ise bunun türevinin formül 3.3'e uygulanması durumunda frekans modülasyonlu dalga aşağıdaki gibi elde edilir.

$$e_c(t) = A \cos [\omega_c t + \beta \omega_m \cos(\omega_m t)] \quad (3.4)$$

Dalga'nın anlık frekansı ise

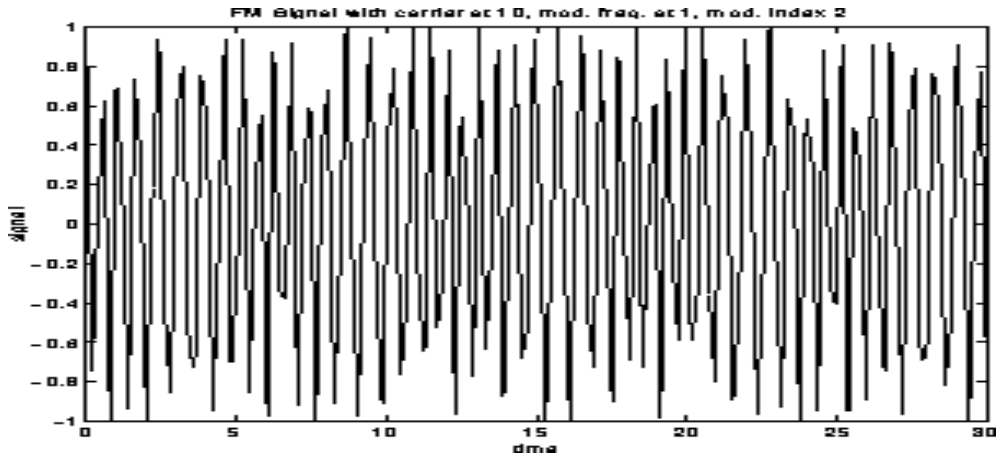
$$f_i = f_c + \beta f_m \cos(\omega_m t) \quad (3.5)$$

olur. Burada f_c taşıyıcı terim, $\beta f_m \cos(\omega_m t)$ ise modülasyon terimidir.

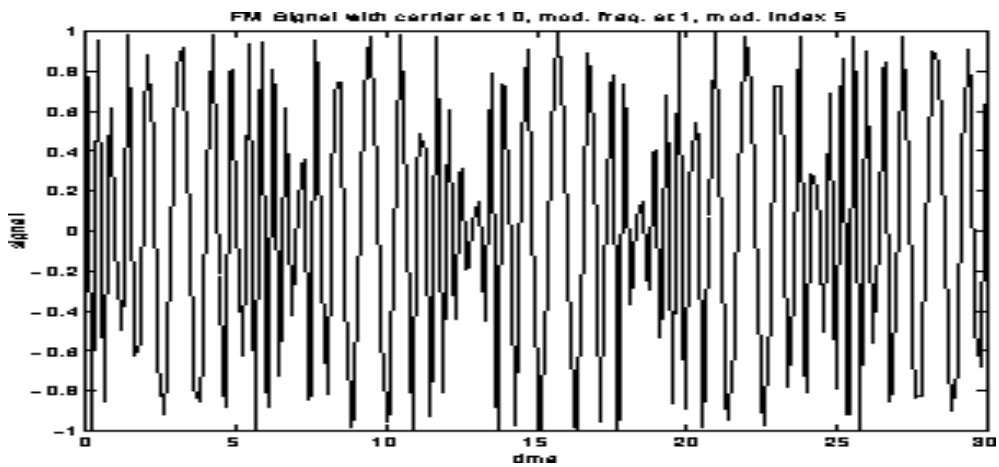
Frekans modülasyonlu taşıyıcının modülasyon indeksi

$$\beta = \Delta f_m / f_m \quad (3.6)$$

Şekil 3.3 ve 3.4'de örnek olarak frekans modülasyonlu dalga görülmektedir.



Şekil 3.3 Modüle Eden Frekans=1 Taşıyıcı Frekansı =10 Modülasyon İndeksi =2 Olarak FM



Şekil 3.4 Modüle Eden Frekans=1 Taşıyıcı Frekansı =10 Modülasyon İndeksi =5 Olarak FM

3.3 Dijital Modülasyon

Dijital sinyallerde, taşıyıcıyı analog sinyaller gibi modüle eder. Genlik, faz ve frekans modülasyonların tamamı dijital modülasyonda kullanılabilir. Bu modülasyonların dijital denkleri genlik değiştirmeli anahtarlama, (amplitude shift keying, ASK), frekans değiştirmeli anahtarlama (frequency shift keying, FSK), faz değiştirmeli anahtarlama (phase shift keying, PSK) Uydu haberleşmesinde modülasyon için en fazla PSK kullanılır. Almacın basit olması gerektiği durumlarda FSK’da kullanılır. ASK genelde alınan sinyaldeki genlikle ilgili belirsizliklerden dolayı yer uydu bağlantılarında pek kullanılmaz [6].

3.3.1 Faz Değiştirmeli Anahtarlama PSK

PSK’da taşıyıcının fazı temelband dijital bilgi ile orantılı olarak değişir. Dijital bilgi ayrık seviye değişiklikleri ile karakterize edilir. Dolayısıyla modüle edilen dalga da ayrık basamaklarla değişir. PSK’nın genel formu aşağıdadır:

$$v(t) = A \cos (\omega_0 t + \phi_m) \quad (3.7)$$

$$\phi_m = (2m + 1) \pi / M \quad (3.8)$$

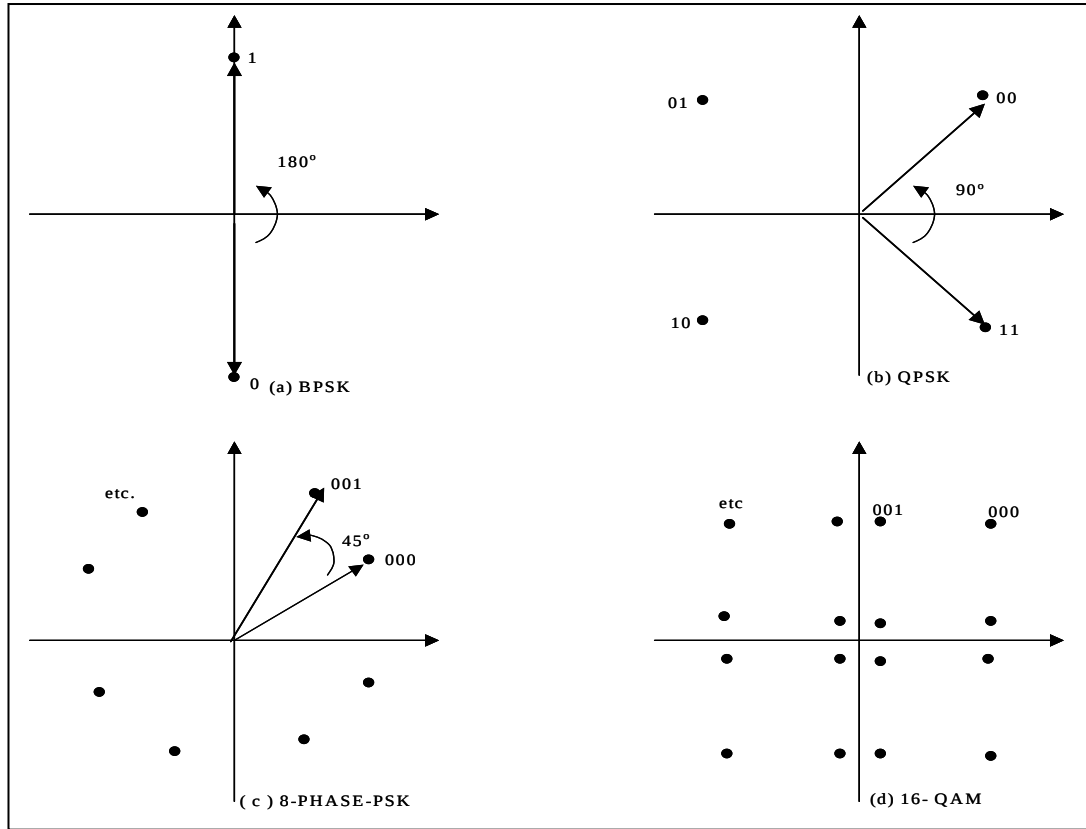
Burada ϕ_m = faz açısı, m ise 0’ dan (M-1)’e kadar olan değerlerdir.

Birkaç bilgi bitlerini bir sembol olarak gruplamak mümkündür. N bilgi bitleri biraya gelince $M = 2^N$ faz durumu olasılığı ortaya çıkar. Eğer N = 1 ise M = 2 olur. m, 0 ve 1 değerlerini alır. Bu değerleri formül 3.8’de yerine konulursa ϕ_m $\pi/2$ ve $3\pi/2$ değerlerini alır. Bundan dolayı taşıyıcı fazı her bir değişiminde 180° değişir. Bu çeşit modülasyona İki Faz Değiştirmeli Anahtarlama (Bi-phase Shift Keying BPSK) denir.

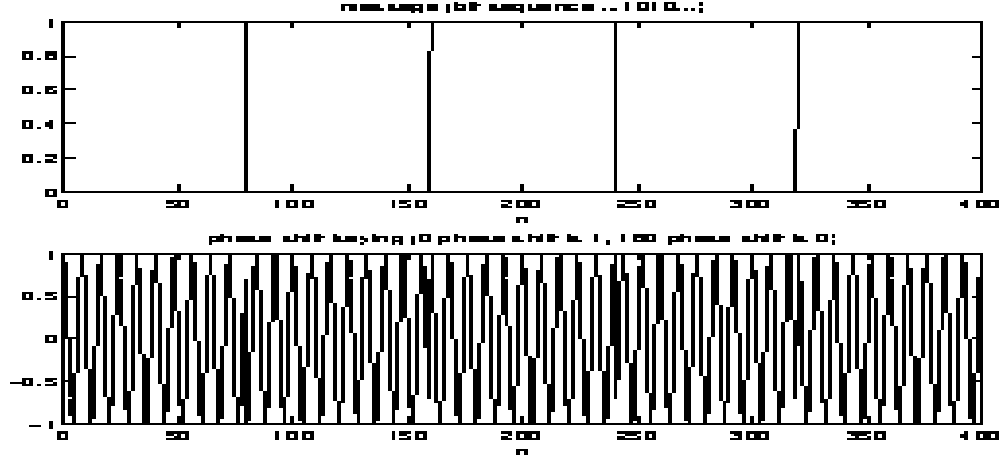
Eğer 2 biti bir sembol olarak gruplarsak 4 değişik faz durumu (0° , 90° , 180° , 270°). Buna Dörtlü Faz Değiştirmeli Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying QPSK) denir. Böylece modüle edilmemiş taşıyıcıya göre 0° faz farklı taşıyıcı bit grubu olarak 0,0’a; 90° farklı taşıyıcı 0,1’e; 180° farklı taşıyıcı 1,0’a; 270° farklı taşıyıcı 1,1’e denk gelir.

N adet temelband bitleri M adet faz durumu oluşturacak şekilde birleşirse buna M'li PSK (M-ary PSK) denir.

PSK modülasyon planları birbirine dik eksenleri olan I-Q düzleminde uygun olarak gösterilebilir. Böyle bir düzlemde sinyal durumu bir nokta olarak gösterilebilir. İletilen taşıyıcı vektör başlangıçtan düzlemdeki noktaya kadar giderek bulunur. Şekil 3.5 (a)'dan (d)'ye kadar I-Q düzleminde sırasıyla BPSK, QPSK, 8-faz PSK, 16-QAM planlarını gösterir. Bir BPSK sinyalinin düzlemde iki faz durumu (0° , 180°) vardır. QPSK sinyali bit yapısına göre 4 durumu (00, 01, 10, 11) vardır. BPSK yapısında taşıyıcı vektör sabit genliğe sahiptir. 16-QAM yapısında ise faz değişimine ek olarak genlik değişimine de izin verilir. Bundan dolayı I-Q düzlemi 16 durumlu grid gösterimi taşıyıcının hem genlik hem fazında değişikliğe izin verir.



Şekil 3.5 PSK Sinyallerinin I-Q Düzleminde Gösterilmesi



Şekil 3.6 PSK Modülasyon Örneği

3.3.2 Frekans Değiştirmeli Anahtarlama FSK

FSK sistemlerinde taşıyıcının frekansı mesaj durumu değişince değişir. İkili FSK (BFSK) modülasyonu FSK'nın en basitidir. Bu sistemde bilgi bitlerinin '0' ve '1' durumlarına denk gelecek f_l ve f_h 'ye izin verilir.

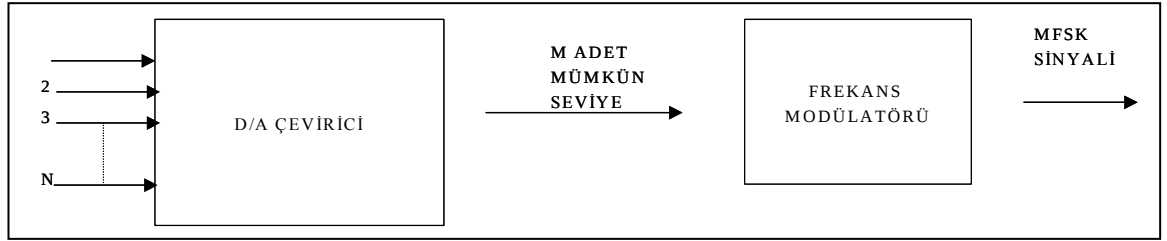
BFSK matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilir.

$$V_f(t) = A \cos [\omega_o(t) + a(t) \omega_f(t)] \quad (3.9)$$

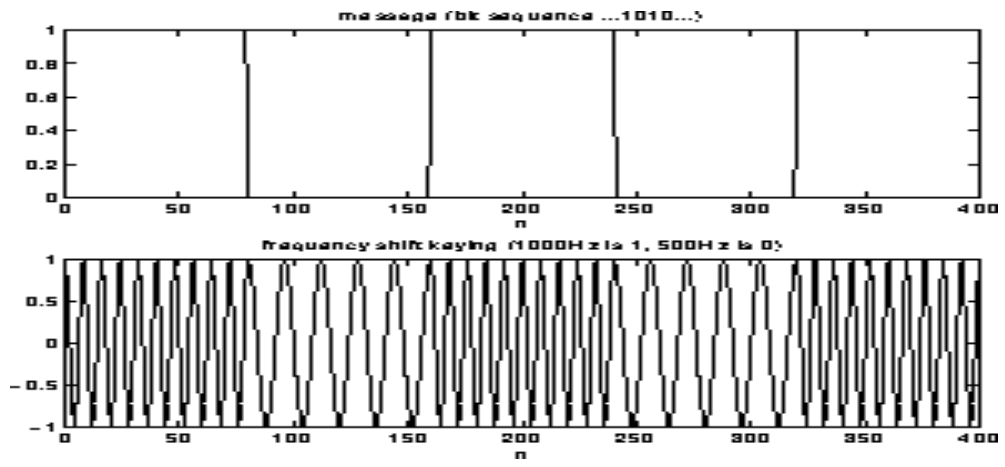
Burada $a(t)$ gönderilen mesajdır.

BFSK M seviyesinden FSK'ya genişletilebilir. M 'li FSK'da N bit bir sembol oluşturmak için birleştirilir. Böylece herbiri bir ayrık frekansa ayrılmış $M = 2^N$ adet sembol gönderilebilir. Örnek olarak 8'li FSK için girilen veriye bağlı olarak ($N = 3$) sekiz ayrık frekanstan biri gönderilecektir.

Şekil 3.7'de M 'li FSK üretilen blok çizimi 3.8'de FSK örnek modülasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.7 M’li FSK Göndermeç Blok Diyagramı



Şekil 3.8 FSK Örnek Gösterimi

4. ÇOKLU ERİŞİM

Erişim, bir kolaylığı veya hizmeti kullanma yeteneği olarak tanımlanabilir. Çoklu erişim ise birçok kullanıcının bu kolaylığa giriş sağladığı durumdur. Uydu haberleşmesinde bu hizmet transpondere erişimdir. Birden fazla yer istasyonunun aynı uydu haberleşme kanalını kullanması ile de çoklu erişim olur. Genelde uydudaki transponderler 3.7- 4.2 GHz frekans bandını paylaşırlar. Her transponder kendine ayrılan frekanslarda bağımsız olarak sinyal işleme ve yeniden gönderme yaparlar. Transpondere erişim bir kanaldan veya ard arda birkaç kanaldan yapılabilir. Telefon, veri, video temel band bilgileri taşıyıcıya modülasyon işlemi ile iletilir.

Bir uydu ağıdaki her çeşit kullanıcının esnek bir şekilde birbirine bağlanabildiği haberleşme düğümüdür. Aynı zamanda iki önemli kaynak olan bandgenişliği ve uydu aracı gücü etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Bazı uygulamalarda olduğu gibi yüzlerce kullanıcının uyduyu aynı anda kullanması erişimi çok karmaşık hale getirmiştir. Trafikğin ses, data ve görüntü olarak çeşitlenmesi erişimi daha karmaşık yapmıştır. İdeal çoklu erişim planı aşağıdaki parametreleri optimize etmelidir:

- 1) Uydu güç yayımı
- 2) RF spektrumu
- 3) Bağlanabilme
- 4) Trafik ve ağ gelişmesine adapte olabilme
- 5) Değişik haberleşme çeşitlerini kontrol altında tutabilme
- 6) Ekonomi
- 7) Yer istasyonu karmaşıklığı
- 8) Gizlilik

Sadece bir teknikle bütün parametreler optimize edilemez. Eğer uygulama çok sayıda ucuz mobil terminallerle haberleşme sağlama ise erişim planı basit, sağlam ve ucuz mobil alıcıların kullanımına uygun olmalıdır. Aynı zamanda çok sayıda

terminalin frekans spektrumunu esnek bir şekilde kullanabilmeli ve ağı mobil terminalleri uydurmak gerekir. Bu uygulamayı daha büyük trafiği olan, daha büyük yer istasyonları bağlanması gereken uygulamayla karşılaştırılınca erişim planı daha karmaşık olur. Burada öncelikle basit yer istasyonları değil, bandgenişliğinin uygun kullanımı ve uydu gücü düşünülür.

Yıllarca belli sayıda erişim planları ortaya çıkmıştır. Uydu teknolojisi başlangıcında en iyi erişim tekniği Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA) olarak ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi basit ağ kontrolü ihtiyacı ve nispeten ucuz olmasıdır. Fakat FDMA'nın bandgenişliği ve güç kullanımı iyi değildir. İsteğe bağlı (DA-FDMA) frekans havuzunun bir merkez ile yönetilmesi ve frekans isteklerinin isteyene tahsisi esasına dayanır. Artan trafik, bandgenişliği yetersizliğine sebep olmuş ve dijital sistemlere doğru kayma daha karmaşık ve etkili yeni erişim tekniğinin çıkmasına sebep olmuştur. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) yüksek trafiğe sahip yer istasyonları bağlantısında kullanılmaktadır. Sinyal seviyesi düşmesi ve parazit istenmeyen gizlilik gereken uygulamalarda da Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) kullanılmaktadır.

TDMA, FDMA, CDMA, ses gibi sürekli trafik olan haberleşme devreleri için uygundur. Buna rağmen bilgisayar ağları ve sorgulama cevap verme sistemlerinde paket şeklinde iletim yapılır. Sonrasında kanalda hareketsizlik olur. Ayrılmış devrelerde böyle bir iletim durumunda kanal kullanımı etkin değildir. Böyle bir durumda trafik karakteristiklerine uygun belirli kurallar ve protokollerle daha uygun kanal kullanımı sağlanmıştır. Bunlar daha çok veri trafiğinde kanal kullanımına uygun Paketli Erişim Planlarıdır.

4.1 Sabit Ayrılmış Sistemler

Bu sistemler Frekans Bölmeli Çoklu Erişim, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim, Kod Bölmeli Çoklu Erişim olarak üçe ayrılır.

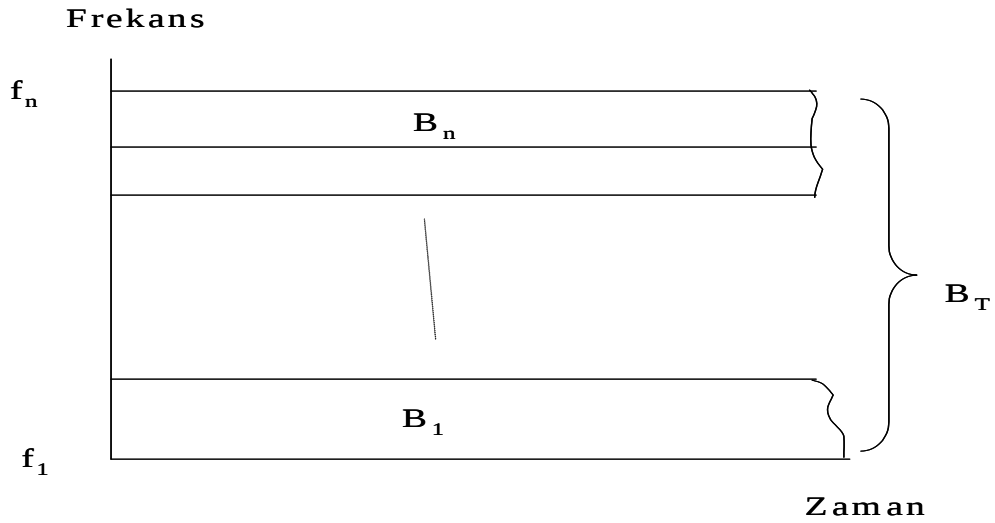
4.1.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim

Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA) planında ayrılan bandgenişliği B_T trafiğe göre büyüklüğü ayarlanan n adet bölmeye şekil 4.1'deki gibi ayrılmıştır. İki yer istasyonu arasındaki FDMA ile haberleşme şekil 4.2'de gösterildiği gibidir. Şekil 4.2'de A yer istasyonu B, C, D yer istasyonlarına gidecek temelband verilerini

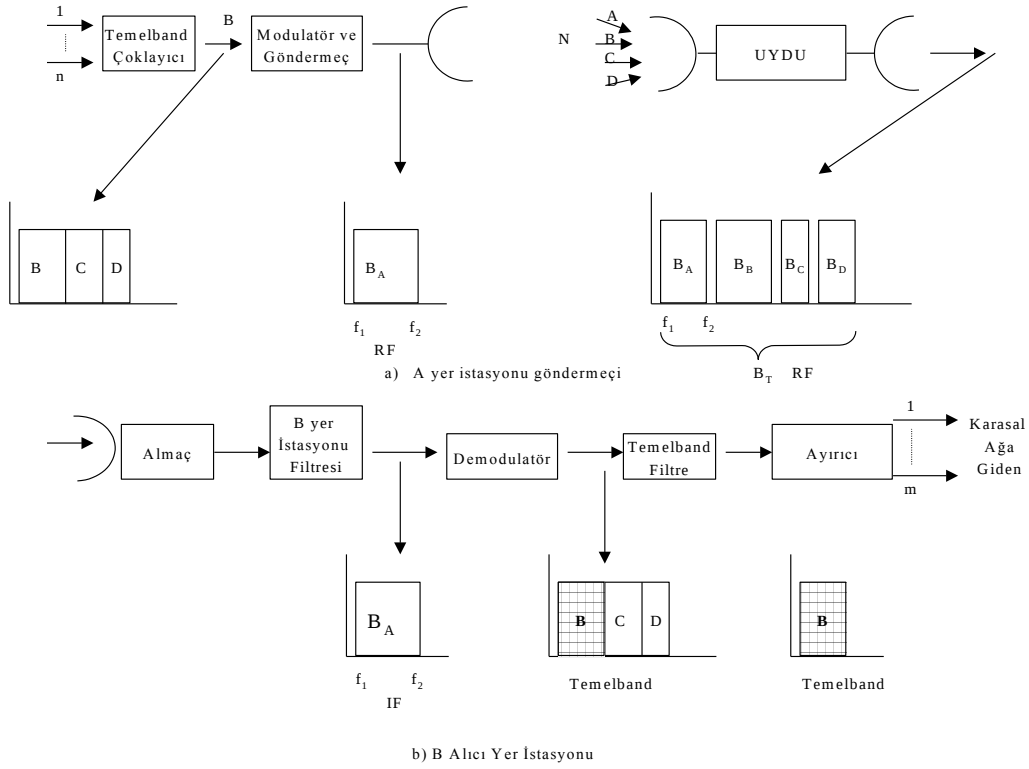
çoklar. Çoklanmış veri module edilip B_A frekans bölmesine gönderilir. Transponderin bandgenişliği herbiri farklı trafik kapasitesine sahip n adet yer istasyonu arasında paylaşılır. Bundan dolayı transponder n adet sabit frekans bölmesine ayrılmıştır.

FDMA da dikkat edildiği üzere her frekans bölmesi arasında koruyucu banda sahiptir. Bu koruyucu bandlar bandgenişliği kullanımı etkinliğini azaltır. Dolayısıyla da ağa ulaşan yer istasyonu sayısını azaltır. Eğer N adet kullanıcı varsa uydudan N adet taşıyıcı geçer. Alıcı yer istasyonu kendine adreslenen taşıyıcıyı uygun RF filtresi kullanarak açar . şekil 4.2(b) 'de B yer istasyonu B_A frekans bölmesini filtreler ve bu bandı demodule eder. Demodölatör çıkışında C ve D ye adreslenen çoklanmış telefon kanalları da vardır. Bir temelband filtre ile istenen frekans aralığı süzölür. Sonunda bir ayrıştırıcı ile çoklanmış telefon kanalları ayrıştırılır ve karasal iletim hatlarına verilir.

FDMA yer istasyonlarının trafik isteklerine göre her taşıyıcıya bir kanal veya her taşıyıcıya çoklu kanal olarak ikiye ayrılır.



şekil 4.1 FDMA Planı Zaman Frekans Gösterimi



Şekil 4.2 FDMA ile A ve B Uydu Yer İstasyonları Haberleşmesi

Özet olarak FDMA'nın avantajları şunlardır:

- 1) Karasal hatlarda kullanılan teknolojiyi kullanır aynı zamanda ucuzdur.
- 2) Ağ zamanlamasına gerek yoktur.
- 3) Temelbandın ses veya data olması modülasyonun FM veya PSK olması kısıtlaması yoktur.

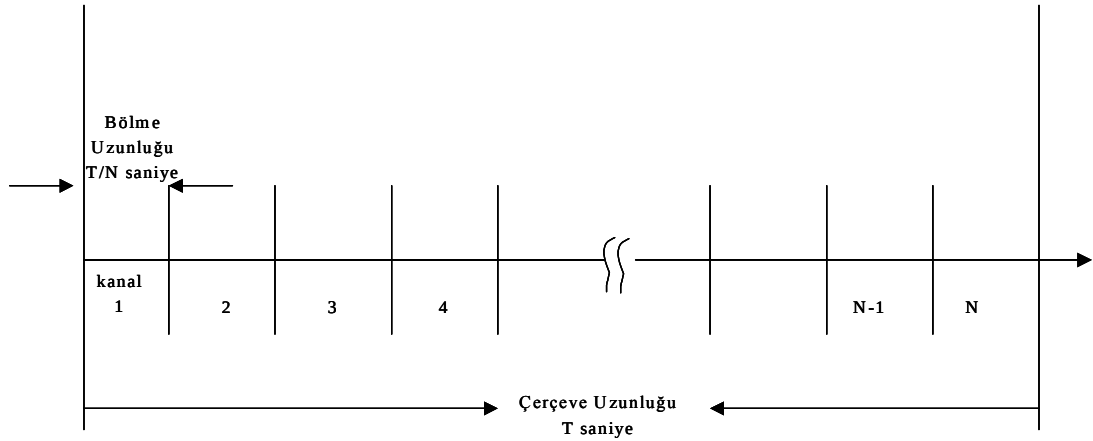
Dezavantajları ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

- 1) Transponderde modülasyonlar arası oluşan gürültü karışmaya sebep olur, bu da uydu kapasitesini düşürür.
- 2) Kanal tahsisi etkin değildir. Yapılan her değişiklik için alıcı tarafındaki filtrelerin ayarlanması gerekir.
- 3) Bağlantı kalitesi için göndermeçi gücü kontrolü gerekir.
- 4) Özellikle MCPC'de zayıf ve güçlü taşıyıcı karışımı olan trafikte zayıf taşıyıcılar bastırılır.

4.1.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)

TDMA bandgenişliği B Hz olan, toplam iletim zamanı T saniyelere bölünmüş çerçevelerden oluşan ve her çerçeve de N adet bölmeye ayrılmış, her kullanıcı için T/N saniye iletim zamanı ayrılan bir çoklu erişim sistemidir.

FDMA da her kullanıcının kendine ayrılan frekans kanalında sürekli iletim yerine TDMA'da kullanıcılar bütün sistemin bandgenişliğini sadece kendilerine tahsis edilen zaman aralığında iletim için kullanırlar. Bu durum şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

FDMA'da olan koruyucu frekans bandları yerine TDMA'da diğer kullanıcılarla karışmayı önlemek için çerçeve içinde koruyucu zaman aralıkları gerekir. İletim her kullanıcı tarafından paket şeklinde olduğundan uygun demodölasyon için taşıyıcı senkronizasyonu ve dijital iletimde bit zamanlaması için saat senkronizasyonu gibi ilave girişler gerekmektedir. Göndermeçten paket şeklinde gönderilen verilerin alıcı tarafından doğru bir şekilde alınabilmesi için senkronizasyon şarttır.

Bir TDMA sistemi aynı zamanda her kullanıcının çerçeve sınırlarını ve çerçevedeki yerini bilebilmesi için sistem zamanlaması senkronizasyonuna da ihtiyaç duyar. Kararlılıkta oluşacak herhangi bir hata koruyucu zamanın artmasına ve dolayısıyla sistem performansının düşmesine sebep olur.

Bundan dolayı TDMA sistemi FDMA'ya göre daha karmaşık zamanlama ve senkronizasyon gerektirir. Ayrıca TDMA sisteminde her kullanıcı yaptığı T/N saniye zaman bölmesi içindeki paket şeklinde iletim haricinde çerçeve zamanı içinde boş kalmaktadır. Bu da TDMA sisteminde göndermeçler ortalama iletim gücü

nispeten az olsa da yüksek güç ihtiyacı duyarlar. Bu da küçük ve mobil terminaller için istenmeyen bir durumdur. Transpondere giriş gücünü gerekli limitlerde tutmak için her yer istasyonu güç kontrolu uygulamak zorundadır.

TDMA sisteminde bir yer istasyonundan herhangi bir zamanda sadece bir kullanıcı çıkış yaptığından çıkış güç kontrolu daha kolaydır.

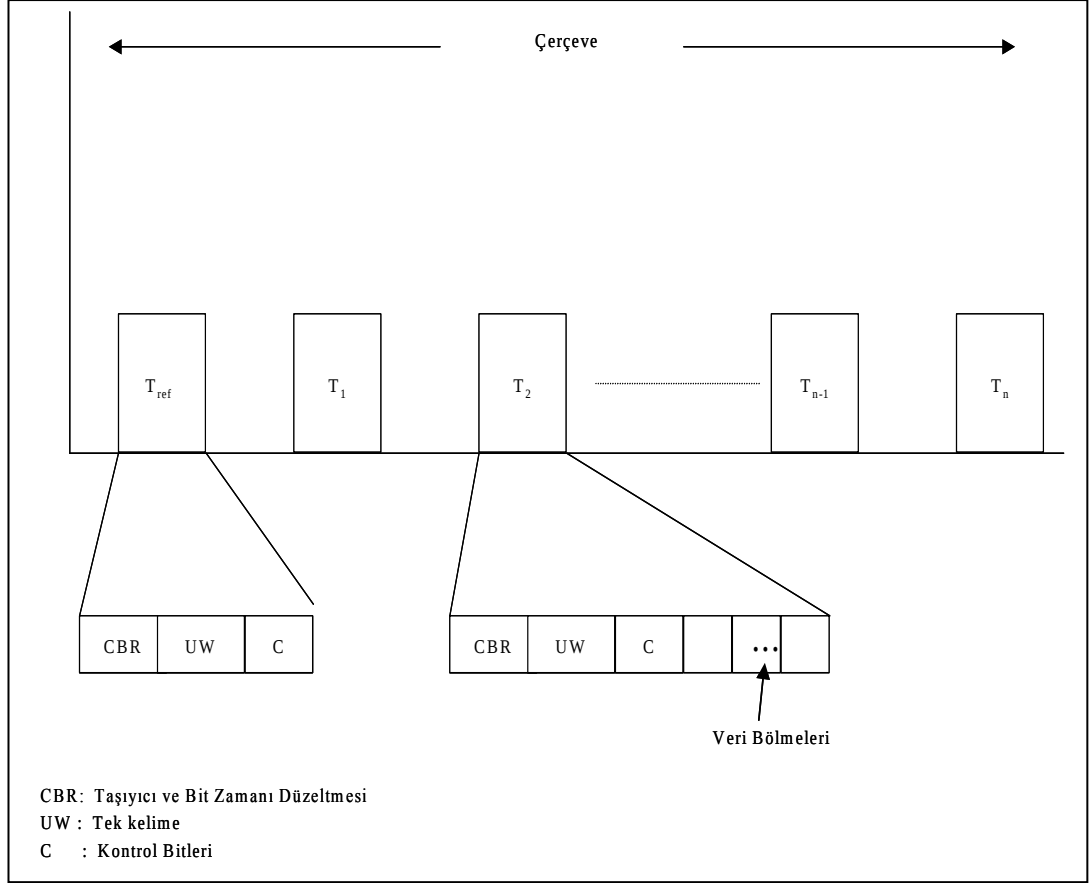
Şekil 4.4 sistemin zaman frekans gösterimini verir. Her yer istasyonu çerçeve içinde kendine ayrılan süre dahilinde transpondere tam erişim sağlar. Her yer istasyonu veri grubunu alır ve kendine adreslenen veriye ayırır.

Şekil 4.5'te zaman bölmeleri arasındaki organizasyon gösterilmiştir. Bir istasyondan gönderilen her çerçeve en az bir referans veri grubu gerekmektedir. Her zaman bölmesi komşu zaman bölmelerinden birer koruyucu zaman aralığı ile ayrılmıştır. Zaman bölmelerinin büyüklüğü istasyonun trafik miktarına göre ayarlanır. Bu zaman bölmesi büyüklüğü trafik miktarındaki değişikliklere göre tekrar düzenlenebilir. Bu da trafik ihtiyaçlarının karşılanmasında esnek bir yapı oluşturur.

Taşıyıcı ve Bit Zamanı Düzeltmesi (CBR) alıcı tarafından demodülasyonda taşıyıcı ve bit zamanı düzeltmesi olarak kullanılır. Tek Kelime veri grubu senkronizasyonu için kullanılır. Bit hatalarından oluşan ilk veri grubundan ilk kelime kaybolması olasılığını azaltır. Kontrol bitleri istasyon tanıtımı ve ağla ilgili bilgiler içerir. Bu üçüne birden giriş denir

Özet olarak TDMA'nın avantajları aşağıdaki gibi sıralanır:

- 1) Modülasyon gürültüsü az daha azdır.
- 2) Gönderme güç kontroluna gerek yoktur.
- 3) İletim planları oluşturması ve düzeltmesi daha kolaydır. Kapasite yönetimi kolay ve esnektir.
- 4) Dijital tekniklerin kullanımına olanak verir.



Şekil 4.4 Zaman Bölmeleri Organizasyonu

TDMA'nın dezavantajları ise aşağıdaki üç durumda tanımlanır:

- 1) Diğer sisteme göre daha karmaşık olarak tüm ağ içinde zaman senkronizasyonu gerekir.
- 2) Analog sinyaller sayısal sinyale çevrilmesi gerekir.
- 3) Analog karasal sistemlerle çalışma uyumu pahalıdır.

4.1.3 Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

FDMA ve TDMA'da farklı kullanıcılar birbirlerinden zaman veya frekans olarak birbirlerinden ayrılırlar. Sayısal İletim için belli miktarda kullanıcı birbirlerine dik farklı kodlar kullanarak aynı iletim zamanında aynı bandgenişliğini kullanabilir. Böyle bir erişim sistemine Kod Bölmeli Çoklu Erişim denir.

Verilen herhangi bir n değeri için özel ikili diziler vardır. Bunlara gürültü benzeri dizileri denir. Bu diziler birbirlerine diktirler.

CDMA bu özelliği kullanarak iletimi zamanca ve frekansça üst üste binse bile karıştırmadan sağlar. n seçeneği için M uzunluğunda N adet gürültü benzeri dizi elde edilir.

$$M=2^n-1 \quad (4.1)$$

Her istasyona iletim için bir dizi tahsis edilir. Her data biti ayrılmış dizi ile EX-OR'lanarak iletilir. D bit/saniye iletim için MD bit/saniye veri iletim hızı olmalıdır. Aynı zamanda sistem bandgenişliği bu veri iletim hızına uygun olmalıdır.

İletimde bu dizilerin kullanıldığını bilerek alıcı gelen bilgiyi bu diziye göre açarak alır.

CDMA sistemlerinde taşıyıcı-karışım oranı en yüksek otokorolasyonun bütün kullanıcılardan meydana gelen kroskorolasyona bölünmesiyle bulunduğu diziler birbirlerine göre düşük kroskorolasyonlu olmalıdır.

CDMA sistemleri FDMA ve TDMA'ya göre daha yetersizdir. Daha fazla iletim hızı için daha fazla bandgenişliği kullanır. Saat ve taşıyıcı senkronizasyonu bu sistem için de karmaşıktır.

CDMA'nın avantajı ise M kadar bir işlem kazancı daha az güç sarfiyatı gerektiren sistemlerde ve düşük veri iletimi olan ticari VSAT sistemlerinde kullanılabilir.

Gürültülü ortamlar için işlem kazancı avantaj olarak kullanılabilir. Askeri sistemler için karıştırmaya maruz kalmamak için gürültü benzeri (PN) dizileri belli bir miktar güvenlik sağlar.

CDMA'nın bazı avantajları özet olarak şunlardır:

- 1) CDMA karışıma dirençlidir Bundan dolayı herhangi bir almacı sinyal kalitesi düşmeden uydu aralıkları azaltılabilir.
- 2) Frekans spektrumu tamamı kullanılarak gürültüye direnç sağlanır.
- 3) Küçük antenlerle karışım olmadan çalışma yapılabilir.
- 4) Bu sistem daha güvenli bir haberleşme sağlar.

CDMA sistemini uygulamak için değişik teknikler kullanılabilir. Bunlardan en çok kullanılanları:

- 1) Direk dizi ile frekansı genişletme
- 2) Frekans atlayarak frekansı genişletme.

4.2 Rasgele Erişimli Sistemler

Sabit ayrılmış sistemler grup olarak veri gönderen kullanıcı sayılarının artmasıyla yetersiz kalmaktadır. Uzun zaman aralıklarıyla düşük trafiğe sahip istasyonlara sabit iletim kaynaklarını tahsis etmek kanal kullanımının etkinliğini düşürür.

Böyle sistemler için rasgele erişim teknikleri daha uygun olur. Rasgele erişimde göndermeç ihtiyaç duyunca bütün iletim hattını kullanır. İletim kapasitesi için hiçbir sabit iletim hattı ayrılmaz. İstatistiksel tekniklerle bir çok grup veri gönderen istasyon bu sistemden yararlanır.

4.2.1 Saf Aloha Sistemi

Saf Aloha sistemi rasgele çoklu erişim tekniklerinin ilki ve en kolayıdır. Bu sistem dağınık kullanıcıları desteklemek veya kullanıcılarla merkez arasında haberleşme maksadıyla kullanılabilir [8].

Aloha sisteminde kullanıcı ileri kanala yani merkez istasyona doğru bir veri paketi gönderince eğer bu veri paketi hatasız olarak merkeze ulaşırsa kullanıcı merkez tarafından paketin hatasız geldiği ve yeni bir paket gönderebileceği hakkında bilgilendirilir. Eğer paketin hatasız gittiği bilgisi belli bir süre gelmezse veri paketi belli bir gecikme ile tekrar gönderilir. Çarpışmaların çözömlenmesi çarpışan paketlerin rasgele bir gecikme ile tekrar iletilmesi ile yapılır. Aloha kanalları verim/kanal trafiği eğrileri ile karakterize edilirler. Bu eğrilerde verim arttıkça tepe oluşur, kanal trafiği arttıkça düşme görülür. Bu tip verim/trafik eğrileri uzun vadeli çalışma modunda düşük verim ve yüksek gecikme olasılığı göz önüne getirir ki bu da bizi kararsızlık adını verdiğimiz duruma götürür. Bununla beraber belirli yeniden iletim prosedürleriyle tatminkar kararlılık özellikleri elde edilebilir.

Saf Aloha sistemi kanal paylaşımında nispeten daha kararsızdır. Mesaj uzunluğu dağılımına göre maksimum verimlilik 0.13-0.18 arasında değişir. Düşük verimin düşük iletişim gecikmesi ile telafi edilmesi, değişken uzunluklu mesaj trafiğinin idare

edilmesi, düzenli çalışma ve minimum ekipman karmaşıklığı VSAT uygulamalarında çok kullanılmasına sebep olur. Çok kısa mesajlarda çarpışmanın daha az olması sebebiyle sağlanan verim diğer daha karmaşık protokollere yakındır. Çünkü diğer protokollerdeki iletim sıkıntıları burada çok azdır.

4.2.2 Bölmeli Aloha (Slotted-Aloha)

Bölmeli Aloha en fazla bilinen ve üzerinde en fazla çalışma yapılan rasgele çoklu erişim protokolüdür. Saf alohadan farkı mesaj paketlerinin iletim esnasında çarpışma olabilecek sürenin azaltılmasıdır. Bu işlem mesaj paketlerinin TDMA’da olduğu gibi başlama ve bitiş işaretleriyle sabit olarak belirlenerek yapılır. Bundan dolayı daha az çarpışma sayesinde daha az tekrar iletim olur. Buna bağlı olarak da iletim gecikmesi azalır. Maksimum verim 0.368 seviyesine çıkar. Bölmeli Aloha bu yüzden sabit uzunluklu mesaj trafiği için basit ve nispeten verimli bir rasgele erişim tekniğidir.

Mesaj uzunluğunda önemli değişiklikler varsa, bu durumda Bölmeli Aloha kullanılması için paket uzunlukları büyütülmeli yada Srej Aloha’da olduğu gibi çok küçük alt paketler oluşturulmalıdır. Birinci durumda net kapasite düşerken, ikinci durumda Bölmelendirilmemiş Aloha’ya olan avantajları azalır. Bu yüzden Bölmeli Aloha’da net verim 0.368 gibi iken değişken uzunluklu mesaj trafiğinde verim Srej Aloha’dan bile az olabilir.

Kullanıcıların sadece ayırık zaman bölmeleri başlangıcında iletim yapması gerektiğinden paketler arası çakışma olasılığı azalır. Bundan dolayı iki kullanıcı aynı anda iletim yaparsa çakışma meydana gelir. Bölmeli Aloha’nın dezavantajları ise bütün kullanıcılar eş zamanlama frekansı yaratmalı ve paket uzunluklarıdır. Saat darbeleri arasındaki bölme kullanıcıya verilen zamanda iletebileceği maksimum veri miktarını belirler. Küçük kullanıcılarla bir kullanıcının iletiminin bitmesinden yeni saat darbesine kadar geçen süre boşa harcanır. Fakat Bölmeli Aloha’nın net verimi Saf Aloha’nın iki katıdır.

4.2.3 Kapasite Ayırmalı Aloha (Reserved-Aloha)

Az miktarda büyük ve seyrek kullanıcıların olduğu sistemlerde kanalın bir bölümü sabit bir işe tahsis edilir geri kalanı daha çok ve seyrek kullanıcıların hizmetine sunulur. Mesela kanalın yarısı %80’lik bir kullanıma ayrılıp diğer yarısı S-Aloha

modunda %36'lık verimle çalıştırılırsa toplam kanal verimi %58.4 olur. Bazı rezervasyonlu protokoller şunlardır:

- 1) İmalı rezervasyon
- 2) Kesin rezervasyon
- 3) Öncelik esaslı rezervasyon (PODA)
- 4) Çarpışmaya bağlı bölme rezervasyonu (SRUC)
- 5) İlk giren ilk çıkar rezervasyonu (FCFS)

Rezervasyon talebi ve kanalın ayrılmayan bölümünde mücadele artarsa trafik verimliliği gecikmesi artar. Bu yüzden rezervasyon bölümlerinin sabit değilde dinamik bir şekilde ayarlanması gerekir.

4.2.4 Tutma Etkili Aloha

Eğer her kullanıcı farklı güç seviyesinde iletim yaparsa trafik verimi artabilir. Farklı işaret seviyeli iki işaret çalışırsa zayıf olan bastırılır ve güçlü olan alınır. İyi bir tasarımla C-Aloha'da P-Aloha'nın üç katı kapasite artışı sağlanabilir.

4.2.5 Seçici Dışlamalı Aloha (Srej-Aloha)

Rasgele erişim protokolleri birçok geniş alan etkileşimli veri ağı uygulamalarında kontrollü erişime göre daha düşük trafik verimliliği sağlamasına rağmen daha düşük erişim gecikmesi sağlamasından ve gerçekleşmesi daha kolay olmasından dolayı avantajlı olmuşlardır. Ayrıca mesajlar kısa ve güç sınırlaması varsa da Aloha erişim teknikleri kullanılabilir. Ancak yüksek trafiğe sahip istasyonların yüksek kapasite gerektirdiği durumlarda sayısal koordinasyon ve zamanlama ihtiyacını karşılamak için erişim gecikmesine rağmen yüksek trafik verimliliği sağlayan talep görevlendirmeli (DAMA) TDMA teknikleri kullanılır.

Etkileşimli trafik kesitinden istasyonlar arası zamanlama ve lojik koordinasyon olmaksızın makul trafik verimliliği sağlayan geliştirilmiş Saf Aloha seçimli reddetmeli denen bu teknikle mesajlar bağımsız alınabilen parçacıklar olarak alt paketlere ayrılıyor ve sadece kanal çarpışmalarına uğrayan alt paketler tekrar iletiliyor. Bu teknikle trafik verimliliği 0.368 seviyesine yaklaşır. Pratikte Srej-Aloha ile elde edilir trafik verimliliği 0.2-0.3 arasındadır. Bu değer mesaj uzunluk karakteristiklerine modem kazancına ve adres bitine bağlı olarak değişir. Bu değer

Saf Aloha'nın buna benzer çalışması veya Bölmeli Aloha'nın değişken uzunluklu mesaj iletiminde elde edilen verime göre oldukça iyidir.

Srej-Aloha mesajları daha küçük paketlere bölerek ve Srej-ARQ yeniden iletim tekniği ile basit Aloha'ya göre daha iyi rasgele erişim verimi elde edilir. Her paketin kendi başlığı ve elde edilme işareti vardır. Bu teknik bir asenkron kanaldaki çarpışmaların büyük çoğunluğunda mesajların sadece bir kısmının çarpışmaya maruz kaldığı gerçeğinden yola çıkarak mesajların sadece çarpışan kısımlarının yeniden iletimini öngörür. Bu net bir verim artışı, kararlılık ve performans avantajları sağlar.

Srej-Aloha teorik olarak net verimi 0.36'ya yaklaşırsa da pratikte bu değer 0.2-0.3 aralığında olur. Fakat Srej-Aloha'nın etkili kullanılabilmesi için kısa elde etme işaretli patlama (burst) modemler kullanılması gerekmektedir.

4.3 Kontrollü Erişim Protokolleri

İsteğe bağlı çoklu erişim (DAMA) kısa uydu haberleşmeleri için iyi bir yoldur. DAMA sistemlerde erişim iki seviyede yapılır. Birinci seviyede istasyonun istek bilgisi içeren küçük paket iletilir. Sonra mesajın kendisi iletilir. Bu genel olarak rezervasyon paketlerinden çok daha uzun olur. Eğer rezervasyon başarıyla yapıldıysa asıl mesaj sorunsuz bir şekilde iletilebilir. Rezervasyon için erişim sürekli bir işe ayrılmış yada rasgele erişim protokollerinden biri kullanılabilir. Asıl mesaj çok uzun olduğunda net kanal verimi çok yüksek olur. Uygun tasarlanmış DAMA sistemleri değişken uzunluklu mesaj trafiği için uygun erişim tekniğidir. Rezervasyon ve veri için ayrılan bölümlerin oranı rezervasyon modeline ve beklenen trafik yoğunluğuna göre değişebilir.

4.3.1 TDMA Rezervasyonlu DAMA

Dama çerçeveleri şekil 4.6'da görüldüğü gibi istek ve veri iletim aralıklarına ayrılmıştır. Kullanıcılar her çerçevede bir kere, bir yada daha fazla veri bölmesi için istek yapabilirler. Merkezdeki istasyon tarafından atama yapılır ve TDM yayın kanalı ile geri gönderilir. Bu tip teknikte (0.6-0.7 s.) yüksek gizlilik (latency) gecikmesi vardır. Ancak yine de veri mesajlarının iletimi yüksek randımanla kullanılabilir.

TDMA rezervasyonlu DAMA özellikle uzun ve değişken büyüklükte olan mesaj trafiği için uygundur. Özellikle sabit öncelikli istek tahsisi (Fixed Priority Oriented

Demand Assignment – FPODA) sistemlerde giriş yükünde uzun vadede değişimlere karşılık olarak rezervasyon ve veri paketlerinin kapasitelerinin değişmesi özelliği vardır. Senkronizasyon, sıralama ve parametre adaptasyon zorunluluğu yüksek ekipman karmaşıklığına ve daha düzensiz bir çalışmaya sebep olur.

4.3.2 Bölmelendirilmiş Aloha Rezervasyonlu DAMA

İstek mesajları için belirli bir işe ayrılmış TDMA yerine rasgele erişim protokolleri kullanılırsa daha yüksek sayıda kullanıcı hizmet verilebilir. Böyle bir DAMA için Bölmelendirilmiş Aloha kullanılır. Bu şekilde rezervasyon için yapılması gereken işler desteklenen istasyon sayısından bağımsız olur. Rasgele erişimin düşük kapasite ile karakterize edilmesinden dolayı mesaj isteğinin asıl mesaj uzunluğuna çok küçük olduğundan kanal zamanının rezervasyon için ayrılmasının önemsiz olduğu görülmüştür.

Desteklenen mesaj trafiği dağılımına bağlı olarak alınacak kapasite 0.4-0.6 civarındadır. Bölmelendirilmemiş Aloha Rezervasyonlu erişim daha geniş bir uydu trafik bölgesini kapsar. Burada da gecikme 0.6 s civarındadır.

4.3.3 Bölmelendirilmemiş Yerel Senkronize Rezervasyon

Yerel senkronize rezervasyon sistemlerinde bölmelendirilmemiş modda istek paketleri için başlangıç erişimi sağlamaktadır. Belli sayıda istek alındığı zaman kanal yerel senkronize rezerve moduna geçer. Programlanan iletimler kanalda olan olaylara dayalı zamanlamayla yerel senkronize edilirler. Veri paketi uzunluğunun rezervasyon paketlerinin uzunluğuna oranının tipik değerlerinde Aloha erişimi ile elde edilecek kapasite 0.6-0.7 arasındadır. Bu değerler sabit uzunluklu mesajlar ve varış zamanına dayalı çarpışma çözümleme algoritması ile 0.8-0.9 aralığında olur. Bu sistemde kanal zamanı dinamik olarak bölümlendirilmesi ile daha iyi gecikme / randıman karakteristiği elde edilir. Yüksek rezervasyon işleme gecikmesi de vardır.

4.3.4 Hibrit Rezervasyon / Rasgele Erişim

Kısa etkileşimli ve uzun yığın mesajların olduğu trafikte basit DAMA'nın kullanılması uygun olmaz. Çünkü kısa mesajlarda yüksek latency (işleme) gecikmesi olur. Etkileşimli trafiğe uygun rasgele erişim ile de karışık trafik ortamlarında verimsizlik ortaya çıkar. Bundan dolayı rasgele erişimin düşük gecikme avantajı ile

rezervasyonlu sistemlerin yüksek verim özelliğini birleştiren hibrit /rasgele erişim ortaya çıkmıştır.

Böyle bir sistem için kısa mesajları rezervasyon bölümünden göndererek gecikme önlenir. Uzun mesajlar için rezervasyon yapılır. Diğer bir yöntem olarak da rezervasyon için veri bölmesi olmayan ama rasgele erişimin başarılı olduğu bir rezervasyon bölmesinden sonraki çerçevelerin rezervasyon için kullanıldığı teknikler ortaya çıkmıştır. Bu tekniklerde düşük erişim gecikmesi ile yüksek verim sağlanır. Pratik olarak kararsızlık ve kilitlenmeler ortaya çıkabilir.

5. KODLAMA

Ses, görüntü veya veri olan bilginin sayısal olarak iletildiğini varsayarsak sinyalin geçtiği kanal sinyal düşmesine sebep olur. Gürültü ve sinyal seviyesinin düşmesi alıcı tarafında bit hatası ihtimalinin artmasına sebep olur. Bu veri sinyallerinin bit hatası ihtimalini azaltmak için kodlanabilir. Kodlama işleminde paketler bilgi bitleri ile fazlalık bitleri içerir. Bu fazlalık bitler bilgi içermez fakat alma işlemine yardımcı olur [6].

Modülasyon esnasında alınan sinyal kalitesi kanaldaki gürültü ile düşer. Çoğu uydu uygulamalarında büyük taşıyıcı-gürültü oranları ile çalışması güç duruma gelmiştir. Bundan dolayı ya taşıyıcı-gürültü oranı ya da alınan bit hata oranı düzeltilmesi gerekir. Hata bulma ve düzeltme kanal kodlama sayesinde olur. Çoğu uydu uygulamalarında göndericiye geri besleme eklemeyen hata bulma ve düzeltme işlemi yapılır. Bu kodlama çeşidine İleri Hata Düzeltmesi (FEC Forward Error Correction) denir. Bazı uygulamalarda ise hata düzeltmesi hatalı bitlerin tekrarı için göndermece geri besleme sağlanarak yapılır. Bu çeşit tekniğe ise Otomatik Tekrar İsteği (Automatic Repeat Request ARQ) denir.

Mesajların ilgisiz kişilerce alınmasını önlemek için yapılan kodlamaya kriptolama denir. Bu daha çok TV yayınlarında izinsiz alımları engelleme için ve askeri uygulamalarda kullanılır.

Kodlama uydu haberleşmesi hatlarında aşağıdaki sebeplerden dolayı kullanılır:

- 1) Uydu küçük yer terminalleri gibi gücü sınırlı hatlarda kodlamayla istenilen iletişim sağlanır. VSAT'lar ve mobil terminaller gibi gücü sınırlı ortamlarda önemli sinyal azalması meydana gelir. Ayrıca mobil terminaller düşman iletim çevrelerine yakın olabilir. Kodlama bu terminallerde sıkça kullanılır. Çoğu mobil terminallerde kodlama olmadan haberleşme sağlanamaz.
- 2) Bilgisayar haberleşmesi gibi hatasız iletim gerektiren uygulamalarda kodlama hata oranını azaltmaya yardım eder. Bu uygulamalardaki kodlama ile oluşan karmaşıklık ekonomik kazanç ile dengelenir.

3) Kodlama ayrıca kanal kapasitesinin daha iyi kullanılmasını sağlar.

Uydu haberleşmesinin önemli bir parçası haline gelen kodlama sadece dijital temelband sinyallerine uygulanır.

'0' ve '1'lerin eşit gelme olasılığı olan ikili sayı dizisinin iletimini düşünürsek bu sayılar gürültü ile bozulmaya uğrar. Bu bozulma ile oluşacak hataları fazlalık göndermesi ile azaltabiliriz. Birinci yol her rakamı belli sayıda tekrar ederek iletmekle olur. Örnek olarak '0' ları '00' yada '000' olarak iletilir. Alıcı kısmında en çok hangi rakam varsa o alınır. Yalnız kodlama ile de hatasız iletim sağlanamaz. Her rakam sonsuz defa tekrar edilirse Shannon'un düşündüğü hatasız iletim sağlanır. Ama bu pratikte sağlanamasa da aşağıdaki önemli bilgiler elde edilir:

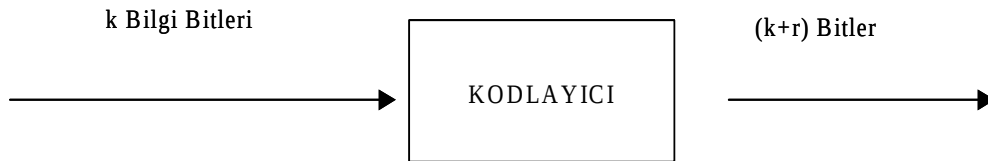
1) Fazlalık arttıkça hata olasılığı düşer.

2) Fazlalık eklemek iletilen bit sayısını artırır.

3) Eğer iletilen mesajda yeterli bilgi varsa hata bulunup düzeltilir. İletim 3 defa yapılıyor ve 001 şeklinde bilgi geldiyse kanalın iki hata yapabilecek kadar gürültülü olmadığını varsayarak; iletilen bilgi '0' olması gerekir. Bu teknikte kanalda olan hata bulunur ve düzeltilir. Ancak kodlama olsa da hata bulma ve düzeltmenin belli bir sınırı vardır.

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi kodlayıcıya k adet bilgi biti giriyor. Burada r adet fazlalık biti ekleniyor ve kodlanmış $(k+r)$ bilgisi çıkıyor. Eğer mesaj iletim zamanı sabit olursa iletilen bit sayısı $k / (k+r)$ oranında düşer. Sonuç olarak iletim bandgenişliği ve alınan gürültü artar.

Alıcı tarafında göndermeç gücü sabit olduğunda mesaj biti hata oranında bir iyileşme olabilir. Belli bir bit hata oranını için kodlanmış iletim kodlanmamış olana göre 3-4 dB az güç ile sağlanabilir.



Şekil 5.1 Kodlamanın Genel Konsepti

5.1 Kayma Kayıtçıları (Shift Registers)

Kayma kayıtçıları ve modulo-2 toplayıcıları kodlama için sıklıkla kullanılmaktadır. Genelde pratikte kullanılan çoğu kodlar lineer dijital devrelerle üretilen lineer kodlardır. Kayma kayıtçıları ve modulo-2 toplayıcıları lineer kod üreteçlerinin temel elemanlarıdır. Bir kayma kayıtçısı ardarda eklenen flip-floplardan oluşur. Herhangi bir zamanda saat darbesiyle kayıtçıya giren bilgi biti, mevcut kayıtçıdaki bitleri bir sonraki duruma getirir. Kayma kayıtçılarının büyüklüğü ihtiyaca göre düzenlenir. Her bit kayması sabit ve doğru bir saat darbesiyle tetiklenir. Saat darbesi ile senkronize olan iletme senkronize veri iletimi, bit kaymaları saatten bağımsız oluyorsa böyle iletme asenkron veri iletimi denir. Modulo-2 toplayıcıları da ikili toplama işlemi yapar.

Kod, kaydırma kayıtçılarının belli yerlerinden çıktı almak ve bu çıktıları bir ya da daha fazla modulo-2 toplayıcıları ile toplamak suretiyle olur. Toplayıcılardan çıkan bit dizisi giriş dizisinin kodlanmış halidir. Kayma kayıtçıları sayısı, modulo-2 toplayıcı sayısı ve çıktı alma yeri kodun fonksiyonlarıdır.

5.2 Kodun Sınıflandırılması

Uydu haberleşmesinde kullanılan iki çeşit kod vardır. Blok kod ve konvolüsyon kodlarıdır.

5.2.1 Blok Kodları

Bu çeşit kodlar bloklar halinde organize edilmiştir. Kodlanmış bir blok n bitten oluşur. Bunların k biti bilgi ve r biti fazlalık bitidir.

$$n = k + r$$

Böyle bir kod (n, k) kodu şeklinde ifade edilir. 8 bitlik bir blokta 5 bilgi biti, 3 fazlalık biti varsa bu kod bloğu $(8, 5)$ blok kod olarak gösterilir. Kod oranı r_c ; k/n 'ye eşittir. Eğer kodlanmış ve kodlanmamış bit oranı aynı ise bilgi akış hızı r_c oranında düşer. Ayrıca kodlanmış ve kodlanmamış veri aynı zaman aralığında iletilecekse kodlanmış veri iletim hızı n/k oranında artırılmalıdır.

Hamming uzaklığı, iki kodlanmış blok arasındaki uzaklıktır. İki adet (8,5) koddan birincisi 10001001; ikincisi 01001001 olsun. Burada iki kodun sadece bir ve ikinci bitleri farklıdır. Bundan dolayı iki kod arasındaki Hamming uzaklığı 2'dir. Genel bir ifade ile iki kod arasındaki Hamming uzaklığı iki kod bloğundaki birbirinden farklı bit sayısıdır. Hamming uzaklığı d_h iki kod bloğu arasındaki minimum mümkün olan uzaklıktır. Bundan dolayı d_h iki kod arasında hata bulma ve düzeltme için bir sınır çizer.

1) Kod çözücüde bir kodun diğer bir koda göre hata bulabilme kapasitesi bit olarak ;

$$e_d = (d_h - 1) \quad (5.1)$$

2) Hata bulma ve düzeltme kapasitesi ise ;

$$e_{dc} = (d_h - 1)/2 \quad d_h \text{ tek sayılar için} \quad (5.2a)$$

$$e_{dc} = (d_h / 2) - 1 \quad d_h \text{ çift sayılar için} \quad (5.2b)$$

dir.

Eğer $d_h = 4$ ise kod 3 adet hata bulabilir ve 1 adet hata düzeltebilir.

Blok kod oluşturmak için 2 temel alternatif vardır. Birincisi ortogonal sinyaller, ikincisi cebirsel kodlamadır [9].

Cebirsel kod oluşturmak için de birkaç metod vardır. Bir tanesi tabloya bakma metodudur. Bu tabloda bütün kod listeleri bulunur. Aynı tablo alıcı tarafında kod çözmek için kullanılır. Bu teknik kod sayısı arttıkça kullanımı zorlaşır. Bilgi bitlerini lineer matematiksel dönüşüm kullanarak lineer kodlar oluşturulur. Burada k bilgi bitlerinden r tane fazlalık biti hesaplanır. Bu çeşit kodlama basit kod çözme sistemiyle çalışır. Pratikte kullanılan bütün kodlar lineer kodlardır.

Matris cebri blok kodlarının analizi için yararlıdır. Matris elemanları mantıksal değişkenler olarak alınır. Bundan dolayı çarpma ve toplama gibi tüm matematiksel işlemler Boolean cebri kurallarını izler.

k-bit kodlanmamış kelime aşağıdaki gibi bir satır matrisi ile gösterilebilir:

$$\overline{A} = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_k]$$

Kod kelimesi oluşturulması ise $\overline{G}$ matrisi ve $\overline{A}$ matrisi çarpımı ile olur.

$$\overline{C} = \overline{A} * \overline{G} \quad (5.3)$$

$\overline{G}$ matrisi elemanları sabittir ve kod çözücü tarafında da bilinir. Kod oluşturma matrisi iki alt matristen oluşur. Bir (k x k) birim matrisi ve bir (k x r) matrisi.

$\overline{G}$ matrisinin (7,4) Hamming kodu: $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ olsun.



Birim matris

$\overline{A} = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_k]$ ise kod kelimesi;

$$\overline{C} = \overline{A} * \overline{G} = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

Kodlanmış bit dizisi ise

$$c = a_1, a_2, a_3, a_4, (a_1 \oplus a_2 \oplus a_3), (a_1 \oplus a_2 \oplus a_4), (a_1 \oplus a_3 \oplus a_4)$$

$\oplus$: (exclusive-OR) ya da işlemdir.

Kod çözme; tabloya bakma işlemi ile yapılabilir. Kod sayısı arttıkça bu tekniğin kullanımı zorlaşır. Lineer cebirsel kodlar kod çözmei kolaylaştırır. Cebirsel kodların çözümü şu şekilde olur:

$$\overline{H} \ \overline{C}^T = O \quad (5.4)$$

Burada $\overline{H}$ bilinen matris, $\overline{C}^T$ ise kodlanmış kelimenin transpozudur.

Cebirsel kodlara örnek olarak tek çift kontrolü, Hamming kodları verilebilir.

5.2.2 Konvolüsyon Kodları

Her blok için bağımsız çalışan blok kodlarından farklı olarak konvolüsyon kodları önceki birkaç biti hafızada tutar. Bu tutulan bitler kodlamada kullanılır. Konvolüsyon

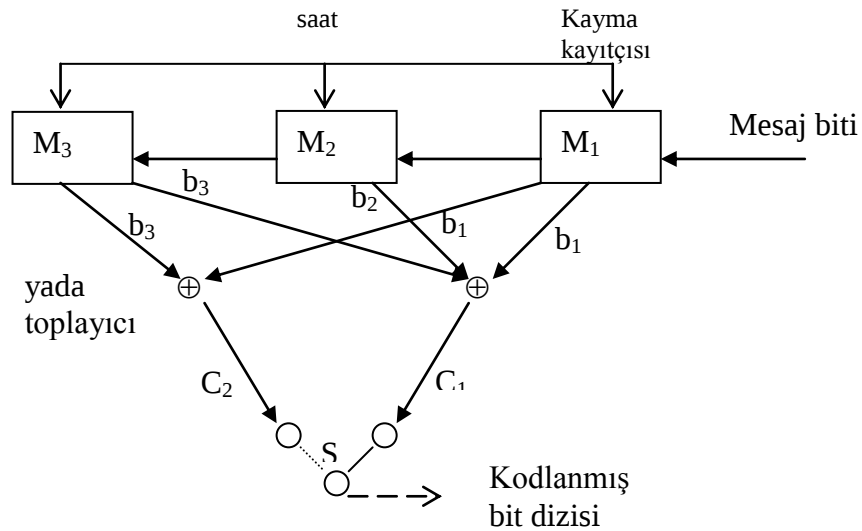
kodları bilgi bitleri ile kayma kayıtlı kodlayıcının darbe cevabının konvolüsyonu ile çıkarılır. Kodlayıcının darbe cevabı ise kodlayıcıya giren ‘0’lardan sonra gelen ‘1’ işaretinin kodlayıcıdaki cevabıdır.

Şekil 5.2’de konvolüsyon kodlayıcının temel fonksiyonel bloklarını gösterilmektedir. b_0 giriş biti sola doğru kayma kayıtlısında kayar. Sonra gelen b_1, b_2, b_3 de bu şekilde kodlayıcıya girer ve sırayla buradan çıkarlar. Kayma kayıtlısının belli yerinden alınan çıkışlar ya da (exclusive-OR) kapılarına getirilir. S anahtarları ile C_1 ve C_2 kodları alınır. Her bilgi biti iki adet kod biti çıkardığından buna $\frac{1}{2}$ kodlayıcı denir.

Şekil 5.2’deki C_1 ve C_2 aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$C_1 = b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \quad (5.5a)$$

$$C_2 = b_1 \oplus b_2 \quad (5.5b)$$

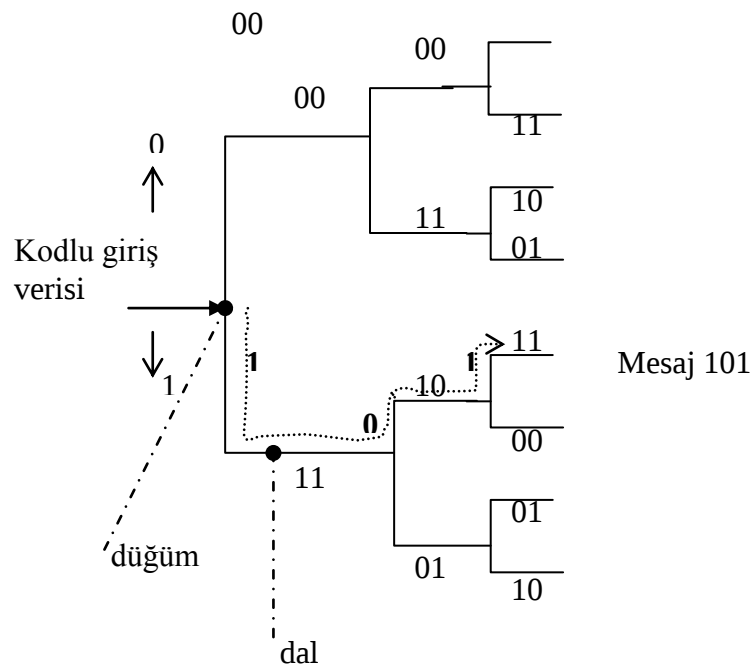


Şekil 5.2 Konvolüsyon Kodlayıcının Temel Fonksiyonel Gösterimi

Yada (exclusive-or) toplayıcı bir lineer işlem yaptığından konvolüsyon kodlayıcı da lineer bir işlem yapar. Kodlayıcı oranı k/v ; örnekte $k=1$ (ardarda gelen bilgi biti sayısı) , $v=2$ (çıkış biti) olduğundan $\frac{1}{2}$ olur. Genelde $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{3}{4}$ kodlama oranları kullanılır.

Konvolüsyon kodlama işlemi kod ağacı ile de gösterilir. Her kodun kendine ait bir kod ağacı vardır. Şekil 5.3’te konvolüsyon kodlama için $\frac{1}{2}$ oranlı kod ağacı görülmektedir. Dik çizgiler düğümleri, bilgi bitlerinin kodlayıcıya giriş anlarını gösterir. Düğümden çıkan her dal ise düğüme giren bilgi bitine göre kodlanmış bilgi

Bir kodu çözmek için ağaç üzerinde dolaşılır. Eğer kodlanmış mesaj (11 10 11) ise düğüme giriş A noktasından olur. İlk kodlu kelime ‘11’ olduğundan kod çözücü aşağı doğru hareket eder. Mesaj biti de ‘1’ olur. İkinci kodlanmış kelime ‘10’ olduğundan yukarı hareket gerekir ve mesaj biti ‘0’ olur. Kod çözmeye bu şekilde devam edilir. Şekil 5.3’te kod çözme yolu kesik çizgi ile gösterilmiştir. Bu işlem sonucunda mesaj dizisi ‘101’ olarak bulunur.



Sıralı kod çözme işlemi ağacın her dalını inceleme ihtiyacını ortadan kaldırır. Baştan hata kontrolüne başlanır. Sonra sıradaki dala gidilip alınan mesajla yakınlığı incelenir. Hata miktarı her düğümde kaydedilir. Yanlış yolda hata sayısı daha hızlı artar. Hata sayısı belli bir sınırı aşarsa geri dönülür. Diğer yollar denenir. Birkaç deneme sonrasında yol tamamlanır.

40

seviyede bit hata oranı sağlar. Sadece en az hata veren yollar kalır. Diğerleri atılır. Böylece karmaşıklık azaltılmış olur.

Hem sıralı kod çözmede hem de Viterbi algoritmalarında yüksek bit oranları ile çalışılabilir. Fakat daha çok maliyet etkin olan Viterbi algoritması kullanılır. Ama sıralı kod çözme tekniğinde daha az bit hata oranı olasılığı vardır.

5.3 Otomatik Tekrar İsteği

İleri Hata Düzeltme (Forward Error Correction FEC) hata bulabilir ve düzeltebilir. FEC kodları taşıyıcı-gürültü oranı düştükçe ve daha küçük hata oranları istendiğinde karmaşıklık artar, etkinlik azalır. Otomatik Tekrar İsteği (Automatic Repeat-Request ARQ) bu durumlar için daha uygundur. ARQ'da hata bulununca, alıcı geri besleme kanalından bozuk mesajın tekrar iletimini ister. Uydu haberleşmesinde iki yönlü iletim gecikmesi 0.5 s. olduğundan dolayı mesaj iletiminde mesaj iletiminde ARQ ile büyük gecikme olabilir. Bu gecikmeden dolayı ARQ tekniği bu gecikmenin tolere edilebileceği veri iletimine daha uygundur.

ARQ tekniklerinin kullanılabileceği değişik yollar vardır. Bunlardan bazıları:

- 1) Dur ve bekle ARQ tekniği; bu teknikte gönderme bir mesaj gönderir. Almaçtan alınan mesaj doğru alındı bilgisi geldikten sonra yeni mesaj gönderilir. Bu teknikte gecikme oldukça fazladır.
- 2) N'ye geri dön şeklinde ARQ; bu teknikte mesaj iletimi sürekli. Alıcı tarafından n'inci mesajdan itibaren tekrar et isteği gelene kadar mesaj gönderilir. Bu mesaj gelince n'inci mesaja geri dönülür. Oradan itibaren göndermeye devam edilir. Bu teknikte birçok mesaj defalarca tekrar edilir.
- 3) Seçilmiş-istekli ARQ; Bu çeşit uygulamada bir öncekine benzer fakat sadece bozulmuş mesaj tekrar edilir. Bu en etkin ARQ tekniğidir. Ayrıca uydu haberleşmesi için en uygun tekniktir.

6. UYDU YÖRÜNGELERİ

Uydular istenilen yörüngelere yerleştirildikten sonra uydu haberleşmesinden söz edilmeye başlanmıştır. Çeşitli uygulamalar için uygun olan birkaç çeşit yörünge vardır.

6.1 Uydu Hareketi İçin Genel Kurallar

Uydu yörüngeleri güneş etrafında dönen gezegenlerin hareketleri ile aynı kuralları izler. Bu kurallar 1609 ve 1619'da Johann Kepler tarafından çıkartılmıştır.

- 1) Her gezegen yörüngesi uzayda güneş merkezli eliptik bir yol çizer.
- 2) Bir gezegeni güneşe bağlayan hat eşit zamanda eşit alan tarar.
- 3) Bir gezegenin periyodunun karesi onun güneşten ortalama uzaklığının kübü ile doğru orantılıdır.

Newton Kepler'in yasalarını güçlendiren kuvvetleri karakterize etmiştir. Newton'un yasaları :

- 1) Her kütle üzerine herhangi bir kuvvet uygulanmadıkça olduğu yerde durmak veya bir çizgi üzerinde düzgün hareket halinde bulunmak ister.
- 2) Kütle üzerindeki ivme değişikliği ona uygulanan güç ile doğru orantılı ve aynı yöndedir.

$$\sum F = m\bar{r} \quad (6.1)$$

burada ; $\sum F$: m kütlesi üzerine etki eden bütün kuvvetlerin vektörel toplamı ; $\bar{r}$: kütlelerin vektörel ivmesidir.

- 3) Kütleye yapılan bütün etkilere karşı eşit ve ters tepki vardır.

Bu üç yasaya ek olarak Newton, yerçekimi yasasını kullanmıştır. Buna göre iki kütle birbirlerini , kütlelerin çarpımı ile doğru orantılı, birbirlerine olan uzaklığın karesi

ile ters orantılı olarak çekerler. Matematiksel olarak bu yasayı aşağıdaki gibi gösterilir:

$$F = \frac{GMm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (6.2)$$

Burada;

F : M kütesinin m kütlesi üzerinde uyguladığı kuvvet

r : kütlelerarası mesafe

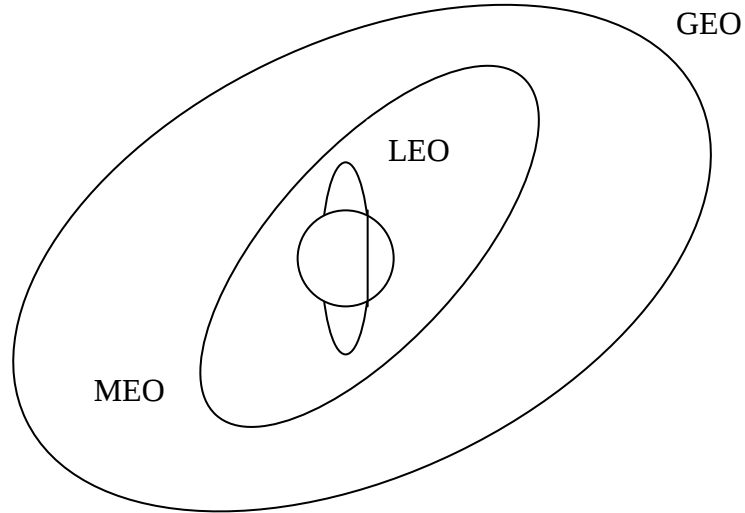
$\vec{r}$: M' den m'ye olan vektör

G : yerçekimi katsayısı = $6.67 \cdot 10^{-8} \text{ dyn cm}^2 \text{ g}^{-2}$

dir.

6.2 Yörüngelerin Sınıflandırılması

Yörüngeler yeryüzünde biçim, eğim, yükseklik ve güneşe göre senkronizasyon gibi parametrelere göre sınıflandırılırlar.



Şekil 6.1 LEO,MEO ve GEO Uydu Yörüngeleri

6.2.1 Alçak Yörünge

800 km.den yüksek olmayan yörüngelere düşük (LEO) yörünge adı verilir. Alçak yörüngelerde uydular itme roketleri ile yörüngelerine belli aralıklarla itilmedikçe atmosferik sürüklenmenin daha fazla olmasından dolayı daha kısa zamanda düşerler. İtme düzeltilmesi olmadan 320 km. LEO yörüngede ömrü yaklaşık 1 yıl iken 800 km. de bu ömür yaklaşık 10 yıla çıkar [18]. Ancak daha yüksek yörüngelerde de parçacık ve meteoritlerle çarpışma ve uydunun zarar görme olasılığı daha fazladır.

LEO uydular daha çok gözlem, çevre koruma, küçük haberleşme uyduları ve bilim amaçlı kullanılır.

LEO uydular dünyanın yüzeyine yakındırlar. Bunun dolayısıyla uydu haberleşmesindeki gecikme ve yankı problemi yok denecek kadar azdır. Ancak yeryüzündeki kullanıcıların üzerinden çok kısa süreli geçerler. Bu uydular dünyanın herhangi bir yerini sürekli kapsayamazlar.

6.2.2 Güneş Senkron Yörünge

LEO yörüngelerin özel bir çeşididir. Bu yörünge değişken, kutupsal yörüngeye yakın ve uydunun belirlenen güneş zamanında hep aynı yerden geçer. Güneş senkron yörüngeye eğim açısı, yörünge yüksekliği ile ulaşılır.

Güneş senkron uydular konumları sürekli olarak güneşin konumuna göre sabittir. Bu yörüngedeki uydular daha çok gözlem, meteoroloji ve çevre koruma amaçlı uzaktan algılama konularında kullanılır.

6.2.3 Yarı Senkron Yörünge

LEO ve MEO özel bir birleşimidir. Yarı senkron yörüngedeki bir uydunun periyodu günün yarısına eşittir. Dolayısıyla bu tür uydularla dünya yüzeyi günde iki defa taranabilir. Bu uydular çok yüksek dozda Van Allen ışınlamı (2000-8000 km. arasında elektronik devrelere zarar veren Van Allen radyasyon bandı) kuşağında kalırlar. Bu tür uydulara örnek olarak GPS uyduları verilebilir.

6.2.4 Yüksek Eliptik Yörünge

Dış merkezlilik (eccentricity) değeri 0.5'den fazla olan yörüngelerdir. Bu yörüngedeki uydular zamanın büyük kısmını yeryüzünden uzak kısımda geçirirler.

6.2.5 Molniya Yörünge

Molniya yörünge yüksek eliptik ve yarı senkron yörüngelerin özel bir biçimidir. Eğim açısı 64 derece, dış merkezlik değeri 0.7, yeryüzüne yakın kısmı güney yarım kürede olan bir yörüngedir. 12 saatlik periyodun 11.7 saati kuzey yarım kürede geçer. Bu nedenle Molniya yörüngeler jeo senkron uydularla kapsanamayan kuzey yarım küre bölgeleri için uygundur.

6.2.6 Jeosenkron Yörünge

Uydunun yörünge düzlemi, dünyanın ekvator düzlemine çok yakındır, eğim ve dış merkezlik değeri sıfıra yakındır. Yörünge periyodu, dünyanın kendi yörüngesinde dönme zamanı ile aynıdır. Bundan dolayı uydular dünya ekvatoru üzerinde herhangi bir boylama yeryüzünden 35786 km. yüksekliğe yerleştirilir. 70 derece enlemi üzerindeki kullanıcılar bu uydulardan bozucu katmanlardan geçiş mesafesi ve açı problemlerinden dolayı fazla yararlanamazlar [11].

Bu yörüngede uydular dünyanın belirli bölgeleri için sürekli kaplama sağlarlar. Ayrıca uydu ve yer istasyonu antenlerinin izleme sistemleri kullanmasına gerekmez. Jeosenkron uydular çok yaygın olarak haberleşme, meteoroloji amaçlı kullanılırlar.

6.2.7 Derin Uzay Yörüngesi

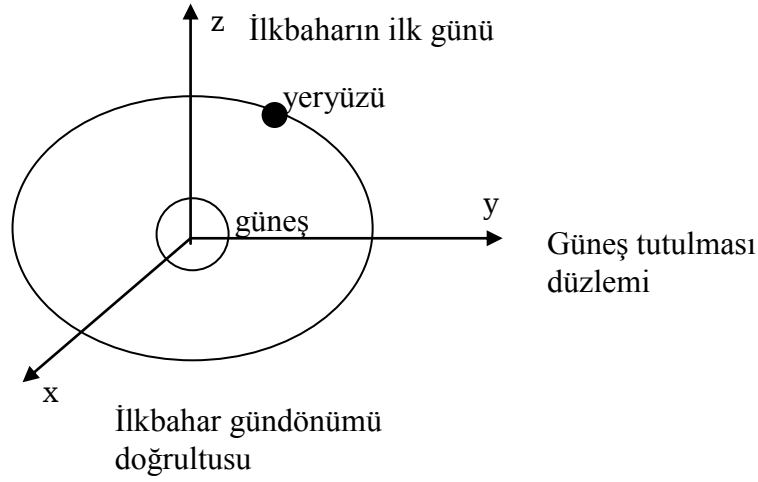
Jeosenkron yörüngesinin üzerindedir. Bu tür uydular ay gibi hareket ederler. Doğudan doğup batıdan batırlar. Bu tür yörüngeler genelde güneşin dış çevresinin gözlemlenmesi gibi bilimsel uydularca kullanılır.

6.3 Koordinat Sistemleri

Uydu yörüngeleri için birçok koordinat sistemleri kullanılır ve bunlar birbirlerine çevrilebilir. Bunlardan bazıları aşağıdaki başlıklar şeklinde gösterilir:

6.3.1 Heliosentrik- Ekliptik Koordinat Sistemi

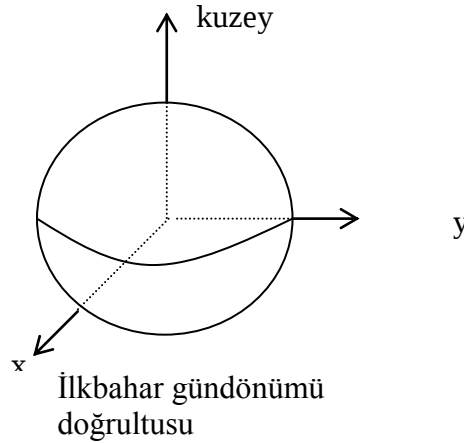
Şekil 6.1'deki gibi güneş etrafındaki yörünge tanımlanır. Güneş, koordinat sisteminin merkezidir. XY düzlemi dünyanın güneş etrafında döndüğü düzlemdir. X eksenini orijin ile güneş tutulması ve dünyanın ekvatorial düzlemi kesiştiği hattır. İlkbahar gündönümü (vernal equinox) doğrultusu dünya merkezi ile güneşi baharın ilk gününde birleştiren hattır.



Şekil 6.2 Güneş Merkezli Koordinat Sistemi

6.3.2 Yer Merkezli – Ekvatorsal Koordinat Sistemi

Şekil 6.2’deki gibi ekvator temel düzlemdir ve merkezi oluşturur. Pozitif x eksen ilkbahar gündönümü doğrultusunda; y eksen x ekseninin doğusundadır. Z eksen ise kuzey kutbu doğrultusunu gösterir.

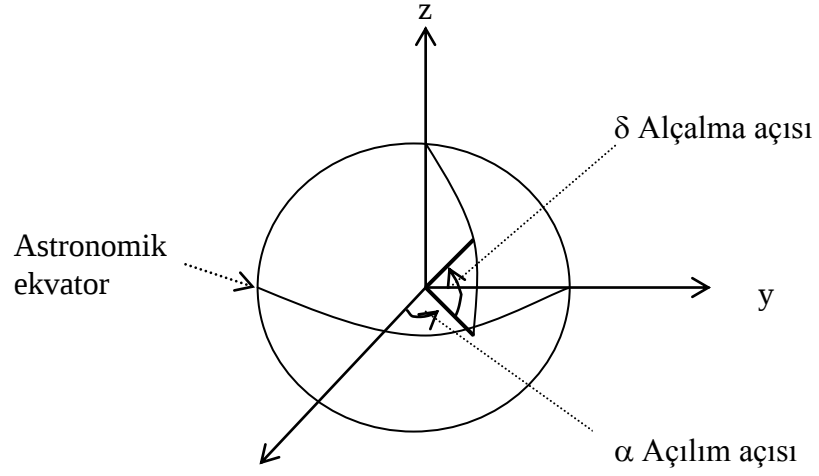


Şekil 6.3 Yer Merkezli Ekvatorsal Koordinat Sistemi

6.3.3 Açılım – Alçalma Koordinat Sistemi

Şekil 6.3’teki gibi uzaydaki bir nesnenin yeri sonsuz yarıçapı olan bir küre üzerine yerleştirilir. Bu küreye astronomik küre denir. Astronomik ekvator temel düzlem olarak kabul edilir. Bir nesne açılım açısı (α) ve alçalma açısı (δ) ile gösterilir. α

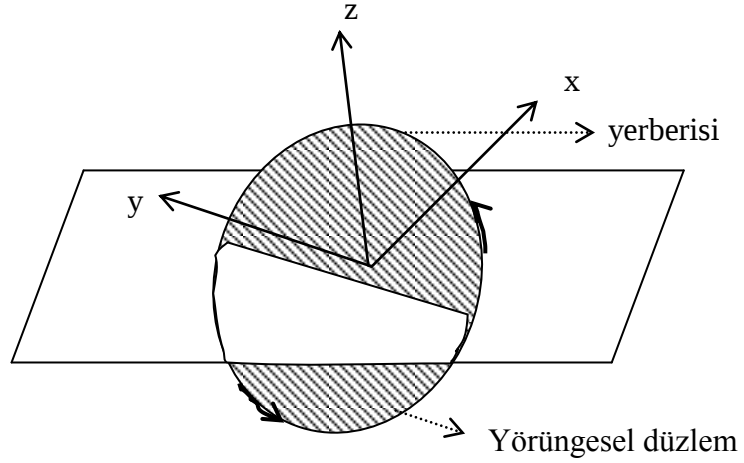
açısı ilkbahar gündönümünden doğuya doğru ölçülür. Alçalma açısı ise (δ) astronomik ekvatordan kuzeye doğru ölçülür.



Şekil 6.4 Açılım- Alçalma Koordinat Sistemi

6.3.4 Odak Etrafında Gösterilen Koordinat Sistemi

Uydu hareketi temel düzlem olarak kabul edilir. Yer merkezi orijin olarak varsayılır. x eksenini yerberisi (perigee) doğrultusunda, y eksenini uydu hareketi ile 90° yapacak şekilde, z eksenini de sağ el koordinat sistemini tamamlayacak şekildedir.

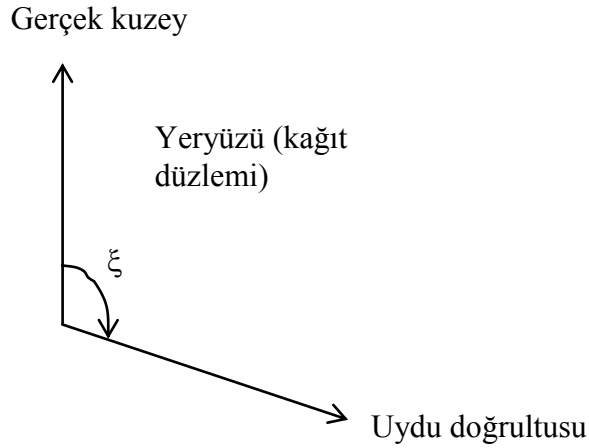


Şekil 6.5 Odak Etrafında Gösterilen Koordinat Sistemi

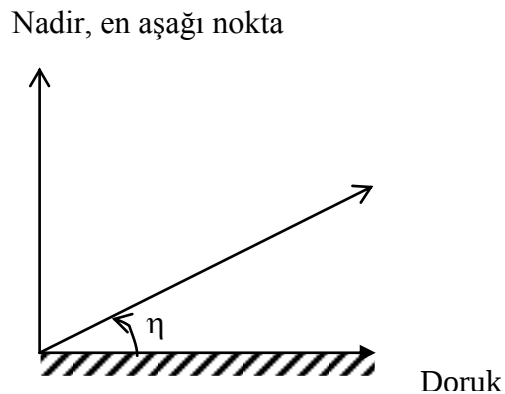
6.3.5 Astronomik Ufuk Koordinat Sistemi (Celestial Horizon Coordinate System)

Genelde bu koordinat sistemi yere göre sabit gözükten uydularda (geostationary-GEO) yere göre uydunun yerini göstermede kullanılır. Bu sistemde gözlemcinin ufku referans düzlemi ve yeri de orijin olarak kabul edilir. Açısal uzaklık bir koordinattır ve η ile gösterilir.

Bu açı yataydan uyduya doğru dik çember üzerinde ölçülür. Yükselme açısı (elevation) denir. Diğer koordinat ξ , yatay düzlemde ölçülür. Bu açı ise gerçek kuzey ile uydu arasında saat yönünde ölçülen açıdır. Bu açığa azimut (azimuth) açısı denir. Şekil 6.5'te yeryüzünde T noktasındaki uydunun azimut ve yükseliş açıları gösterilmektedir.



(a) azimut açısı



(b) yükseliş açısı

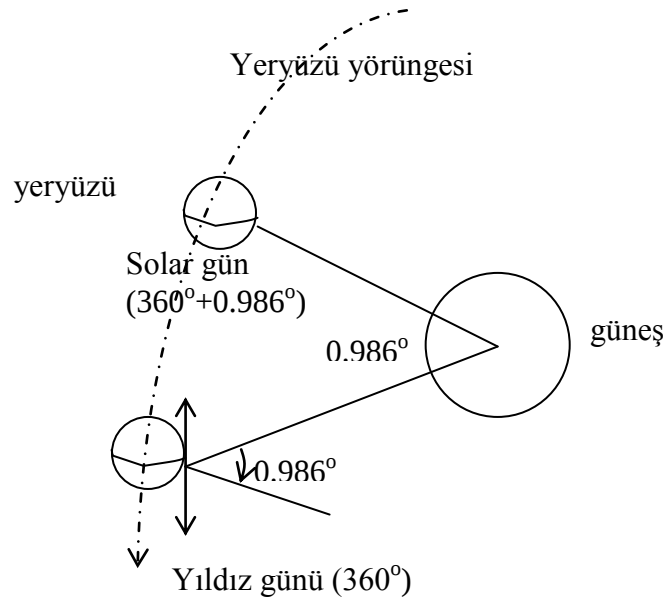
Şekil 6.6 T noktasındaki Uydunun Astronomik Ufuk Koor. Sis. Göre Açılarının Gösterimi

6.4 Yeryüzündeki Bir Noktanın Koordinatları

Yeryüzündeki herhangi bir nokta enlem ve boylam olarak gösterilir. Enlem ekvator düzlemi ile bir noktanın yeryüzü merkezi ile olan hattın yaptığı açıdır. Boylam ise kuzey ve güney kutbundan geçen yaydır. Referans meridyeni olarak İngiltere'deki Greenwich Gözlemevi üzerinden geçen boylam alınmıştır. Boylam açısı ise yermerkezi ile referans meridyeninin kesiştiği çizgi ile yeryüzü merkezi ile belli bir nokta arasındaki çizginin yaptığı açıdır. Karışıklığı önlemek için referansa göre doğu ve batıyı göstermek için E ve W harfleri eklenir.

6.5 Güneş ve Yıldız Günü (Solar and Sidereal Day)

Günlük hayatta güneşe göre ölçülen zaman kullanılır. Güneş günü güneşin belli bir meridyen üzerinden ardarda geçiş periyodudur. Dünya güneşin ardarda geçişi için 360° 'den fazla dönmesi gerekir. Çünkü ortalama olarak yeryüzü güneş etrafında günde 0.986° ilerler. Bu konsept şekil 6.7'de gösterilmiştir. Yıldız günü ise dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi için gerekli zaman olarak tanımlanır. Şekilde görüldüğü gibi bu zaman dünyanın güneş etrafındaki hareketine bağlı olarak güneş gününden biraz kısadır. Gerçekte yıldız günü 23 saat 56 dakika 4.1 saniyedir. Bundan dolayı bir GEO uydu dünyaya göre sabit gözükmesi için bir yıldız gününe denk gelen yörüngesel zamanı olmalıdır.



Şekil 6.7 Güneş ve Yıldız Günü

6.6 Uyduyu Etkileyen Kuvvetler

Gerçekte uyduyu basit iki kütle modelinden farklı kuvvetler de etkiler. Bu etkiler uydunun yörünge şekline göre de değişir.

6.6.1 Yeryüzü Etkisi

Yeryüzü etrafındaki yerçekimi kuvveti yeryüzü kütesinin tam küresel olmamasından dolayı düzgün değildir. Yeryüzü bir bakıma elipsoid olarak tanımlanabilir. Kutupsal ve ekvatorial yarıçap farkı 21 km.'dir. Bu düz küreden olan farklılık uyduda değişik güçler oluşturur.

6.6.2 Diğer Büyük Kütlelerin Çekimi

Dünyaya yakın yörüngedeki LEO uydular için yerçekimine göre güneş ve ay çekimi küçüktür. Buna rağmen GEO uydular için bu kuvvetler dikkate değerdir. Burada ay ve güneşin çekim kuvvetleri büyüklüğü ele alınmalıdır. Uydu bu kütleyle yaklaştıkça üzerindeki kuvvet miktarı artar. Bu kuvvet en çok uydunun yörüngesinin eğim açısını etkiler.

Ay ve güneşin birleşik etkisi GEO uydunun eğimi üzerine 0.75° - 0.94° arasında etki yapar.

GEO uydunun eğim açısına 3 temel güç etki eder. Güneş ve ay tarafından oluşan çekim kuvveti ve uydunun küresel olmayan yapısından dolayı olan güçtür. Eğer düzeltme yapılmazsa bir GEO uydu 53 yılda normal yerinden 15° sapar.

6.6.3 Güneş Radyasyonu Basıncı

GEO uyduları kurulması düşünülürken güneş radyasyonu basıncı da düşünülmelidir. Uydunun güneş gören yüzeyi arttıkça radyasyon etkisi de artar. Bu daha çok büyük anten dizileri kullanan güçlü uydularda görülür. Bu basınç uydunun yörüngesel dış merkezliliğini artırır ve bozulan döndürme gücü ortaya çıkarır.

6.6.4 Diğer Etkiler

Diğer bazı etkiler ise atmosferyel engel ve Doppler etkisidir. Atmosfer etkisi, uydu atmosferyden atom ve iyonların çarpışmasından kaynaklanan sürtünme ile etkilenir. Bu etki yörüngesinin eliptikliğini daha dairesel yapmaya çalışır. Düşük yüksekliklerde sürtünme uyduda aşırı sıcaklık oluşturur. Sonunda yanarak düşmesine sebep olur.

Doppler etkisi, Johann Doppler (1803–1853) tarafından açıklanmıştır. Ses dalgalarının, ses kaynağının alıcıya göre hareketli iken olan frekans değişimini ölçmüştür. Bu olay basit olarak şu şekilde açıklanır. Bir tren düdüğünün seviyesi istasyona yaklaşırken daha artması ve uzaklaşırken azalması ve gözlemcinin tren içinde olduğu durumda değişmemesi gibidir.

Uydu haberleşmesinde ise frekans uydu yerdeki alıcıya yaklaşırken artar, uzaklaşırken azalır. Bu durumda Doppler etkisinden kaynaklanan frekans değişikliği hesaplanması gerekir.

7. UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ

Bir sistemin güvenilirliği, verilen yaşam ömrü içinde doğru işlem yapma, çalışma olasılığıdır. Uydu haberleşme sistemlerinin güvenilirliği iki temel bileşen olan uydu ve yer istasyonu güvenilirliğine bağlıdır.

Elverişlilik ise sistemin gerçek düzgün çalışma periyodunun, düzgün çalışması gereken periyoda olan oranıdır. Elverişlilik, uydu haberleşme sisteminde sadece bileşenlerin güvenilirliği ile değil aynı zamanda başarılı fırlatma olasılığı, yerleşme zamanı, çalışan ve yedekte bekleyen uydu sayısına da bağlıdır [14].

Yer istasyonlarının elverişliliği hem kendi güvenilirliğine hem de sistemi çalışır muhafaza etmeye bağlıdır. Uydu için elverişlilik sadece güvenilirliğe bağlıdır. Çünkü mevcut teknoloji ile uydu bakımı öngörülmemektedir.

7.1 Hata Oranı

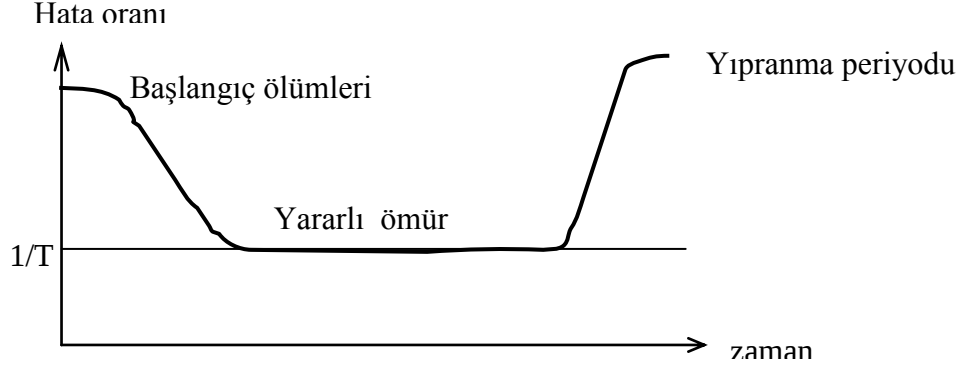
Uydu gibi karmaşık bir sistemde iki çeşit bozulma olur:

- 1) Rastlantısal bozulma
- 2) Kullanımdan dolayı bozulma .

Rulmanlar gibi mekanik bileşenlerdeki yıpranma, sınırlı çalışma ömürleri olan hareketli dalga tüplerinin (TWT) katodlarının bozulması, enerji kaynaklarının azalması bozulmaya yol açar.

Anlık hata oranı $\lambda(t)$ belli bir zaman başlangıcından itibaren çok küçük zaman diliminde (limite giderken) bozulan cihazların düzgün çalışan cihazlara oranıdır. Şekil 7.1'deki banyo teknesi eğrisi elektronik cihazlar için hata oranı varyansını göstermektedir. Başlangıçta hata oranı süratle düşmektedir. Bu erken ya da başlangıç hataları periyodudur. Daha sonra hata oranı aşağı yukarı sabittir. Son kısımda da hata oranı süratle artar. Bu ise yıpranma periyodudur.

Uydu cihazları için başlangıç bozuklukları fırlatmadan önce test sırasında giderilmektedir. Yıpranma periyodundaki hataları azaltmak da üretim tekniklerini geliştirmekle olur [6].



Şekil 7.1 Hata Oranı-Zaman Grafiği

Yararlı ömür periyodunda çoğu elektronik ve mekanik ekipmanların sabit hata oranı (λ) vardır. Anlık hata oranı genelde Fit olarak ifade edilir. (Fit= 10^9 saatteki hata sayısı)

7.2 Yaşam Olasılığı veya Güvenilirlik

Güvenilirlik bir sistemin belirlenen zaman içinde istenilen şekilde fonksiyonlarını yerine getirebilme olasılığıdır. Eğer bir cihazın hata oranı $\lambda(t)$ ise, 0 ile t arasındaki periyotta yaşam olasılığı veya güvenilirliği, $R(t)$;

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(u) du \right] \quad (7.1)$$

şeklinde gösterilir.

Bu ifade, hata oranının (λ) varyansı zamandan bağımsız genel bir gösterime sahiptir.

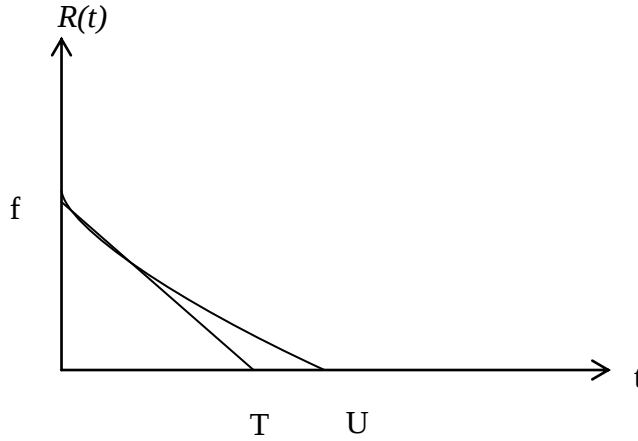
Eğer hata oranı $\lambda(t)$ sabitse güvenilirlik ifadesi;

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (7.2)$$

olur.

Şekil 7.2’de güvenilirlik-zaman grafiği gösterilmektedir.

Uydu için maksimum ömür ; (U) başlangıçtan yakıtın bitmesine bağlı olarak sistem tarafından hiçbir hizmet verememesine kadar olan süredir. U zamanından sonra yaşam olasılığı sıfırdır. Eğer λ küçük ise güvenilirlik fazladır.



Şekil 7.2 Güvenilirlik-Zaman Grafiği

7.3 Bozulma Oranı veya Güvensizlik

Güvensizlik $D(t)$ veya t zamanında bozulma oranı (hata 0 ile t arasında oluyor) güvenilirliğin tümleyenidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R(t) + D(t) = 1 \quad (7.3)$$

7.3.1 Bozulma Olasılık Yoğunluğu $f(t)$

Anlık bozulma olasılığı güvensizliğin zamana göre türevidir. Bozulma olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$;

$$f(t) = \frac{dD(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (7.4)$$

olur.

Dolayısıyla t periyodu içinde bozulma olasılığı ise ;

$$D(t) = \int_0^t f(u) du \quad (7.5)$$

şeklinde gösterilir.

Hata oranı $\lambda(t)$, bozulma olasılığı yoğunluğu $f(t)$ ile ilgilidir.

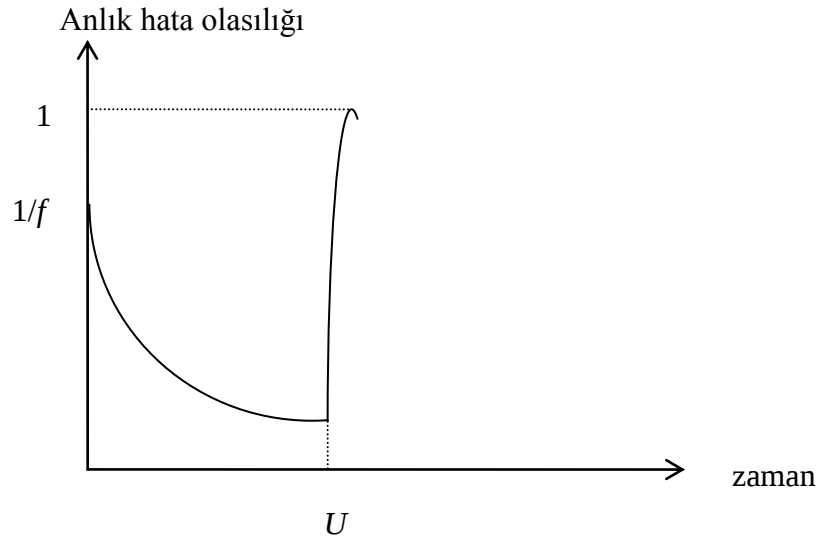
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (7.6)$$

Eğer hata oranı (λ) sabitse;

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

olur.

Bir uydunun maksimum ömrü (U) için zamana göre bozulma olasılık yoğunluk grafiği şekil 7.3'te gösterilmektedir.



Şekil 7.3 Zamana Göre Anlık Hata Olasılığı Grafiği

7.4 Ortalama Ömür (MTTF)

Ortalama ömür veya ortalama hata yapma süresi, sistemin hizmete girmesinden sonra ilk hatanın olması ortalama süresidir. (T)

İlk hata olması ortalama süresi anlık hata olma olasılığından elde edilir. Anlık hata;

$$T = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (7.7)$$

olarak hesaplanır.

Eğer hata oranı λ sabitse

$$T=1/\lambda$$

olur.

Şekil 7.3'te anlık bozulma olasılığı verilen uydunun maksimum görev ömrü U , ortalama ömrü (τ), iki integral toplamıdır. İkincisinde delta fonksiyonu normalize edilmiştir. Bu durumda ortalama ömür τ aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\tau = \int_0^U t \lambda e^{-\lambda t} dt + e^{-\frac{U}{T}} \int_U^{\infty} t \delta(t - U) dt \quad (7.8)$$

veya

$$\tau = T \left(1 - e^{-\frac{U}{T}} \right) \quad (7.9)$$

dir.

Ortalama ömür (τ); sabit hata oranı (λ) için ilk hata olması süresi (T)'ye bağlıdır. τ/T oranı, maksimum ömür (U) boyunca bozulma olasılığıdır.

Tablo 7.1 10 yıllık MTTF için maksimum görev ömrü (U)'nun fonksiyonu olarak ortalama ömür (τ) vermektedir.

Tablo 7.1 10 Yıllık MTTF İçin Ortalama Ömür Grafiği

Maksimum Görev Ömrü (U),(yıl)	Ortalama Ömür (τ) (yıl)
$U=T/3=3,3$	$\tau=0,28T=2,8$
$U=T/2=5$	$\tau=0,39T=3,9$
$U=T=10$	$\tau=0,63T=6,3$
$U=2T=20$	$\tau=0,86T=8,6$
$U=3T=30$	$\tau=0,95T=9,5$

7.5 Uydu Sistemi Elverişliliği

Elverişlilik (A); (çalışması gerekli zaman – bozulma zamanı)/(çalışması gerekli zaman) olarak ifade edilir. Burada gerekli zaman sistemin çalışması gerektiği zaman, bozulma zamanı da gerekli zaman içindeki bozulma zamanıdır.

Belirli bir zaman için verilen elverişlilik değeri elde etmek için gerekli uydu sayısını belirlemek gerekir. Uydu sayısını veya fırlatılacak uydu sayısı servis maliyetini etkiler.

Bir sistem için gerekli uydu sayısı (n), elverişlilik (A) ise iki durum ortaya çıkar. Birincisi uydunun diğer uydu yerine yörüngeye yerleşme zamanı (t_g) ve ikincisi de başarılı fırlatma olasılığıdır (p).

7.5.1 Yörüngede Yedek Uydu Olmama Durumu

Bu durumda gerekli uydu sayısı ve sistem elverişliliği aşağıdaki şekilde hesaplanır:

7.5.1.1 Gerekli Uydu Sayısı

(τ) ortalama ömür olduğunda, ortalama L yıl için yörüngeye $S=L/\tau$ adet uydu yerleştirmek gerekir. (p) başarılı uydu fırlatma olasılığı ise $n=S/p$ adet deneme gerçekleştirmek gerekir. Böylece gerekli uydu sayısı ;

$$n = \frac{L}{pT \left(1 - \exp \left(-\frac{U}{T} \right) \right)} \quad (7.10)$$

dir.

7.5.1.2 Sistem Elverişliliği

Eğer uydu ömrünün (U) sonuna yaklaşıldığında, yeterli zaman önceden uydu değiştiriliyorsa, fırlatma hatası olsa bile yeni fırlatma yapılıyorsa, sistem elverişsizliği raslantısal hata oranına göre daha azdır.

Bir uydunun ömrü boyunca (U), tesadüfi hata olasılığı $P_a = 1 - e^{-UT}$, L yıl boyunca S adet değiştirme olacaksa ($P_a * S$) hata olasılığı olur. Her değiştirme başarılıysa bir t_r zamanı gerektirir. Bu ise ortalama t_r/p zaman gerektirir. L yıl boyunca ortalama süre ise;

$$\frac{P_a S t_r}{p} = \frac{L t_r}{pT}$$

olur.

Ortalama elverişsizlik (bozulma) oranı ise;

$$B = \frac{t_r}{pT} \quad (7.11)$$

olur.

Sistem elverişliliği $A=1-B$ olduğundan;

$$A = 1 - \left(\frac{t_r}{pT} \right) \quad (7.12)$$

olarak gösterilir.

7.5.2 Yörüngede Yedek Uydu Olduğu Durum

Aktif uydu gibi yedek uydunun da bir (λ) hata oranı ve (U) ömrü vardır. Önceki duruma göre L yıl için 2 kat uydu fırlatmak gerekir.

Bu durumda gerekli uydu sayısı ;

$$n = \frac{2L}{pT \left(1 - \exp \left(\frac{-U}{T} \right) \right)} \quad (7.13)$$

olur.

t_r/T çok küçük olduğu için sistemin elverişliliği ise

$$A = 1 - \frac{2t_r}{(pT)^2} \quad (7.14)$$

eşitliği ile gösterilir.

Tablo 7.2’de, 0.25 yıl değiştirme zamanlı (t_r) ve 0.9 başarılı fırlatma olasılıklı (p) üç adet örnek gösterilmektedir.

Yüksek elverişlilik (A) elde etmek için uydunun ilk arıza yapma ortalama zamanı ($MTTF$), tahmini ömür (U)’dan daha önemlidir. Yedek uydu olmadan tablodaki örneğe göre 10 yıl tahmini ömür için 1,7 veya 3,4 ay servis sağlanamaz. Elverişsizlik zamanı 10 yılda 1 ay olarak sınırlanırsa; elverişlilik en az %99,2 olmalıdır. Bu yörüngede bir yedek uydu bulundurmaya, 4-6 arası fırlatma ve MTTFolarak en az 10 yıl için (10^5 saat) gerektirir.

Tablo 7.2 Ortalama Dizayn Ömrü ve MTTF'ye Göre Elverişlilik ve Fırlatılması Gerekli Uydu Sayısı

Dizayn Ömrü, (U)	5 yıl	7 yıl	10 yıl
MTTF, (T)	10 yıl	20 yıl	20 yıl
Ortalama Ömür, (τ)	3.9 yıl	5.9 yıl	7.9 yıl
Ömürboyu hata olasılığı, $p_f=\tau/T$	0.393	0.295	0.395
Değiştirme Zamanı, t_r	0.25 yıl	0.25 yıl	0.25 yıl
Fırlatma Başarı Olasılığı, p	0,9	0,9	0,9
Yedek Uydu Yoksa			
Yıllık Fırlatma Oranı, n/L	0,28	0,19	0,14
Elverişlilik, A	0,972	0,986	0,986
Yörüngede 1 Yedek Uydu Varsa			
Yıllık Fırlatma Oranı, n/L	0,56	0,38	0,28
Elverişlilik, A	0,9985	0,9996	0,9996

7.6 Alt Sistem Güvenilirliği

Bir sistemin güvenilirliği, o sistemi oluşturan alt sistem güvenilirlikleri tarafından ifade edilir. Genel olarak çoğu alt sistemler güvenilirlik açısından birbirine seri olarak düşünülür. Bazı sistemlerde ise alt sistemler özel görevler için birbirinden bağımsız olarak paralel irtibatlanır.

7.6.1 Seri Elemanlar

Eğer güvenilirlik açısından alt sistemler seri ise sistemin doğru çalışma olasılığı elemanların güvenilirlikleri çarpımı ile bulunur. Bir sistemde n adet eleman varsa sistemin güvenilirliği (R);

$$R=R_1R_2R_3.....R_n \quad (7.15)$$

olur.

Sistemde dört eleman varsa ve herbirinin güvenilirliği 0,98 ise sistemin güvenilirliği,
 $0,98^4 = 0,922$

olarak hesaplanır.

Sistemin tam hata oranı λ ; eğer bütün elemanların hata oranı λ_i sabitse, hata oranları toplamına eşittir ve MTTF'de $1/\lambda$ olur.

7.6.2 Paralel Elemanlar

Güvenilirlik açısından paralel elemanlardan oluşan bir sistem düşündüğümüzde sistemin bozulma olasılığı, her elemanın bozulma olasılığı çarpımına eşittir.

$$D = D_1 D_2 D_3 \dots D_n \quad (7.16)$$

dır.

Sistemin güvenilirliği ise ;

$$R = 1 - D$$

olarak hesaplanır.

Bu ifade n eleman içinden 1 elemanla sistemin doğru çalışması sağlanıyorsa geçerlidir.

Doğru çalışma için n adet denk elemandan oluşan sistemde k adet eleman gerekli ise güvenilirlik için değişik durumlar analiz edilmesi gerekir. P_k güvenilirliği, n eleman içinden k adet gerekli eleman için $(p+q)^n$ binom ifadesi şeklinde gösterilir. Burada p elemanların doğru çalışma olasılığı, q ise çalışmama olasılığıdır. Ayrıca

$$p+q = 1$$

dir.

Eğer bir sistem iki paralel R_i güvenilirlikli elemandan oluşuyorsa ve ikiside sağlamsa binom kuralı ile doğru çalışma elde edilir. Doğru çalışma,

$$(R_i + D_i)^2 = R_i^2 + 2R_i D_i + D_i^2$$

olarak ifade edilir.

Eğer iki elemanda çalışıyorsa güvenilirlik R_i^2 'ye eşittir. Eğer bir eleman arızalı diğeri çalışıyorsa sistemin güvenilirliği ,

$$R = R_i^2 + 2R_i D_i = R_i^2 + 2R_i(1-R_i) = 2R_i - R_i^2 \quad (7.17)$$

olarak hesaplanır.

Eğer hata olasılıkları sabitse ve λ 'ya eşitse güvenilirlik,

$$R = 2e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}$$

olur.

Başarısızlık oranı ise $f(t)/R$ oranından elde edilir. Burada $f(t)$,

$$f(t) = \frac{dD(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt}$$

dir.

İlk arıza olması ortalama zamanı,

$$T = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

eşitliğinden elde edilir.

Eğer n eleman paralel, birbirine eşit λ_i hata oranı var ve doğru çalışma tek bir eleman ile sağlanıyorsa, sistemin $MTTF$ 'si,

$$MTTF = MTTF_i + \frac{MTTF_i}{2} + \frac{MTTF_i}{3} + \dots + \frac{MTTF_i}{n} \quad (7.18)$$

olarak gösterilir.

Burada

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_i}$$

dir.

İki eşit paralel eleman için $MTTF$,

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{2\lambda_i} = \frac{3}{2\lambda_i} = 1.5MTTF_i$$

olur.

Hata olma ortalama zamanı iki elemanın paralel bağlanmasıyla %50 artmaktadır.

7.6.3 Dinamik Güvenilirlik

Bir sistemde arızalı bir ana elemanla değişecek n elemanlı bir sistemde paralel çalışan m eleman varsa, her elemanın hata oranı λ_i eşit ve sabitse m doğru çalışan eleman için sistemin güvenilirliği Poisson dağılımı ile verilir.

$$R = e^{-m \lambda_i t} \left[1 + m \lambda_i + \frac{(m \lambda_i t)^2}{2!} + \dots + \frac{(m \lambda_i t)^n}{n!} \right] \quad (7.19)$$

İlk hatanın olma ortalama zamanı ise,

$$MTTF = \left[\frac{(n+1)}{m} \right] MTTF_i \quad (7.20)$$

olarak gösterilir.

Buradaki $MTTF_i = 1/\lambda_i$ bir elemanın karakteristiğidir.

Yukarıdaki ifadelerde hata oranları sabit ve eşit olduğu varsayılmıştır. Ayrıca yedek elemanlar ana bir parça değiştirilirken sağlam durumda ve anahtarların güvenilirliği de 1 olarak kabul edilir.

Bir alt sistem temel eleman ve gerektiğinde onu değiştiren yedek elemandan oluşur. Temel elemanın hata oranı λ_p , aktif değilken yedek elemanın hata oranı λ_r , çalışırken λ_s 'dir. Altsistemin güvenilirliği, hatanın ve doğru çalışmanın değişik olasılıkları düşünülerek elde edilir.

0 ile t arasındaki zamanda temel elemanın doğru çalışma olasılığı,

$$e^{-pt\lambda}$$

dir.

$(t_f < t)$ için t_f anında temel elemanın hata olasılığı,

$$\lambda_p e^{-\lambda_p t_f}$$

şeklinde gösterilir.

0 ile t_f aralığında yedek elemanın doğru çalışma olasılığı ise

$$e^{-\lambda_r t_f}$$

olarak tanımlanır.

t_f ile t arasındaki zaman içinde doğru çalışma olasılığı da

$$e^{-\lambda(t-t_f)}$$

Eğer temel eleman t anında sağlam ise t anında sistemin doğru çalışması sağlanır. Güvenilirlik R_p olur. Eğer t_f anında temel elemanda hata olduysa, t anında yedek eleman sağlamsa güvenilirlik R_s 'dir. t anında yedek eleman sağlamsa sistem, 0 ile t_f ve t_f ile t zamanlarında doğru çalışması gerekir.

Buna bağlı olarak güvenilirlik $R_p + R_s$ olur.

Burada

$$R_p = e^{-\lambda_p t}$$

olur.

$$R_s = \int_0^t \left[(\lambda_i e^{-\lambda_p t_f}) (e^{-\lambda_r t_f}) (e^{-\lambda_s(t-t_f)}) \right] dt_f$$

dir.

Sistemin güvenilirliği ise,

$$R = e^{-\lambda_p t} + \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_p + \lambda_r + \lambda_s} \right) (e^{-\lambda_s t} - e^{-(\lambda_p + \lambda_r)}) \quad (7.21)$$

ifadesiyle gösterilir.

İlk hatanın olması ortalama zamanı T ,

$$T = MTTF = \left(\frac{1}{\lambda_p} \right) + \frac{\lambda_p}{\lambda_s} (\lambda_p + \lambda_r) = T_p + \left[\frac{(T_s + T_r)}{T_p + T_r} \right] \quad (7.22)$$

ile hesaplanır.

Burada T_p , temel elemanın arıza yapma ortalama zamanı ($MTTF$), T_r aktif olmayan yedek elemanın ilk arıza yapma ortalama zamanı ve T_s 'de aktif yedek elemanın ilk arıza yapma ortalama zamanıdır.

$\lambda_r=0$ ve çalışan elemanların eşit λ_i hata oranı olan durumda güvenilirlik ise

$$R = e^{-\lambda_i t} + \lambda_i t e^{-\lambda_i}$$

ifadesi Poisson dağılımından elde edilir.

Bu durumda ilk hata olma ortalama zamanı ,

$$T = MTTF = \frac{2}{\lambda_i} = 2 MTTF$$

olur. İlk hata ortalama zamanı iki kurulu ünite için bir aktif ünite durumunda ikiye katlanır.

7.6.4 Anahtarların Güvenilirliği Eklendiğinde Sistem Güvenilirliği

Temel ve yedek olarak iki üniteden oluşan bir altsistemin güvenilirliği ise temel eleman için anahtarın düşünüldüğü ve düşünülmediği iki durum oluşur. Burada üniteler eşit λ hata oranına sahiptir. R_{sw} ise, anahtarın güvenilirliğidir. Birinci durumda Şekil 7.4a'daki gibi sinyaller anahtar veya anahtarlarla yedek üniteye yönlendirilir. Bu durumda topluluğun güvenilirliği anahtarların çarpımına eşittir ve yedeklenen sistemin güvenilirliği

$$R = R_{sw}^2 (e^{-\lambda_i t} (1 + \lambda_i t)) \quad (7.23)$$

olur.

İkincisi ise şekil 7.4b'de gösterilen temel eleman için anahtarın kullanılmadığı, esas elemanı yedekleyen yedek elemanın paralel olduğu ve anahtarın sadece yedek elemanı bağlamak için kullanıldığı durumdur. R_{sw} sadece yedek daldan çıkar. t anında esas eleman çalışıyorsa, t anında sistemin güvenilirliği veya t_f anında esas elemanın arızalandığı ve $t_f - t$ aralığında anahtar doğru çalıştığı düşünülerek yedek elemanın doğru çalıştığı durumda sistemin güvenilirliği hesaplanır. Güvenilirlik bu durumda

$$R = e^{-\lambda_i t} + R_{sw} \lambda_i t e^{-\lambda_i t} \quad (7.24)$$

Olarak gösterilir.

Eğer λ_{sw} ortalama hata oranı sabitse,

$$R_{sw} = e^{-\lambda_{sw}t}$$

dir.

Güvenilirlik ise,

$$R = e^{-\lambda_i t} + \lambda t e^{-(\lambda_i + \lambda_{sw})t}$$

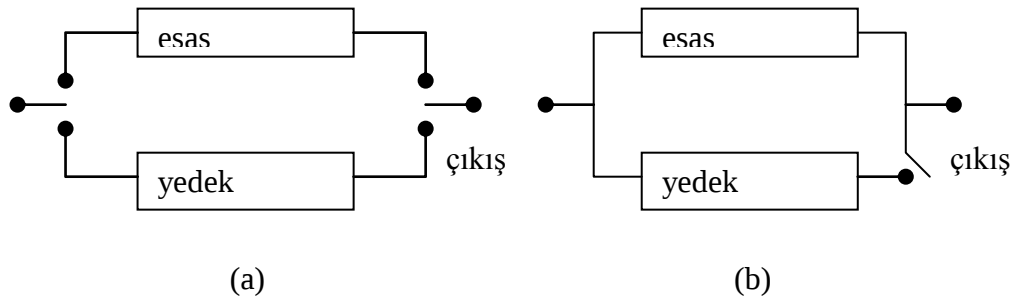
olur.

Hatanın olması ortalama zamanı ise,

$$T = MTTF = \left(\frac{1}{\lambda_i} \right) + \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \lambda_{sw})^2} \quad (7.25)$$

olarak ifade edilir.

Eğer $\lambda_{sw}=0$ ise, $MTTF, 2/\lambda_i = 2MTTF$ olur.



Şekil 7.4 ½ Yedekli Sistem

İki kanalın üç TWT ve önyükselteçi ortak kullandığı uyduda yükselteçlere ulaşma iki anahtar yardımıyla olur. Şekil 7.5'teki gibi girişte iki giriş üç çıkışlı bir $S_{2/3}$ anahtar, çıkışta da üç giriş iki çıkış olan $S_{3/2}$ anahtar vardır. Normalde iki yükselteç aktif üçüncü boşa kalır. Aktif cihazların hata oranı λ_i , boşa olan cihazın hata oranı ise λ_r dir.

Güvenilirlik açısından bakılınca t anında iki kanalın doğru çalışma olasılığı şekil 7.5a'ya denk blok diyagramdan elde edilir. Bu şekil 7.5b'de gösterilmiştir. Sistemin güvenilirliği anahtarların güvenilirliği R_{sw} ve yükselticilerin güvenilirliği R_A çarpımına eşittir.

Yükselteçlerin güvenilirliği R_A , değişik hata ve doğru çalışma olasılıkları ile elde edilir.

0 ile t arasında iki temel elemanın doğru çalışma olasılığı,

$$e^{-2\lambda_i t}$$

olur.

($t_f < t$) için t_f anında temel elemanın arıza yapma olasılığı,

$$\lambda_i e^{-\lambda_i t_f}$$

şeklinde gösterilir.

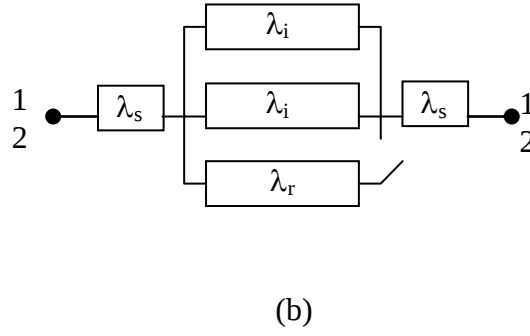
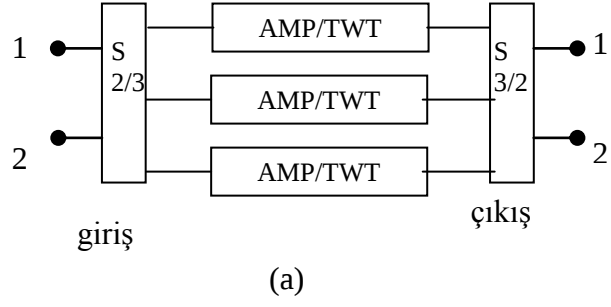
0 ile t arasında diğer temel elemanın doğru çalışma olasılığı $e^{-\lambda_i t}$ olur.

0 ile t_f arasında yedek elemanın doğru çalışma olasılığı ise $e^{-\lambda_i t_f}$ dir.

t_f ile t arasında yedek elemanın doğru çalışma olasılığı $e^{-\lambda_i (t-t_f)}$ olarak gösterilir.

Sistemin t anında doğru çalışmasına emin olmak için,

- t anında her iki temel eleman sağlam olmalı
- Bir temel elemanın t_f anında arızalanmasından sonra yedek eleman 0 ile t_f ve t_f ile t arasında doğru çalışmalı ve diğer temel eleman diğer temel eleman da t anına kadar doğru çalışmalıdır.
- Diğer temel eleman arıza yapması durumunda önceki durumun aynısı olmasıdır.



Şekil 7.5 2/3 Yedekli Sistem

R_A güvenilirliği aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$R_A = e^{-2\lambda_i t} + 2e^{-\lambda_i t} \int \left[\left(\lambda_i e^{-\lambda_i t_f} \right) \left(e^{-\lambda_r t_f} \right) \left(e^{-\lambda_i (t-t_f)} \right) \right] dt_f \quad (7.26)$$

Eğer boştaki elemanın hata oranı $=0$ ise ($\lambda_r=0$) ise güvenilirlik doğrudan aşağıdaki gibi Poisson dağılımından hesaplanır.

$$R_A = e^{-2t\lambda} (1 + 2t\lambda)$$

Anahtarların da güvenilirliği eklenince güvenilirlik ise

$$R = R_{S_{\frac{2}{3}}} R_A R_{S_{\frac{3}{2}}}$$

olur.

Örnek olarak

Yükselteç hata oranı $\lambda=2300$ Fit ($2300 \cdot 10^{-9}$), (Fit= 10^9 saatteki hata sayısı)

Anahtar hata oranı $\lambda_{sw}=50$ Fit

Beklenen ömür= 10 yıl

10 yıl sonra

Yükselteçlerin Güvenilirliği (R_A) = 0,93765

Anahtarların Güvenilirliği (R_{sw})= $e^{-\lambda_{sw}t} = 0,99563$

Topluluğun Güvenilirliği ($R_A R_{sw} R_{sw}$) = 0,92947

Tersine, Çiftlenmemiş Yükselteç Güvenilirliği $= e^{-\lambda t} = 0,81752$

olarak verilebilir.

7.6.5 Değişik Hata Modları Olan Sistem

Bazı cihaz ve elemanlar değişik hata modlarına sahiptir. Örnek olarak kısa devre, diyodlar, kapasitörler vb. için açık devre gibi. Sistemdeki elemanların hata yapma olasılıkları aynı değildir. Hata olması sistemin mimarisi ile de ilgilidir. n elemanın seri olarak düşünüldüğü bir sistemde, hata açık devre tipinde ise bir elemanın bozulma olasılığı D_0 , tüm sistemin bozulmasını temsil eder. Böylece topluluğun bozulma olasılığı

$$(1 - (1 - D_0)^n)$$

olur. Diğer yandan kısa devre tipindeki bir hatadan dolayı bozulma olasılığı D_c ile gösterilir. Topluluğun bozulması olasılığı için bütün elemanların bozulması gerekir. Buna göre topluluğun bozulma olasılığı $(D_c)^n$ olur.

Seri yapıdaki bir sistemin güvenilirliği,

$$R = (1 - D_0)^n - (D_c)^n$$

dir. Bu sistem kısa devre hatalarınadayanıklıdır.

n elemanlı bir paralel sistem, açık devre tipi hatalarla ilgilidir. Bir elemanın bozulma olasılığı D_0 ise topluluğun bozulması için bütün elemanların bozulması gerekir. Topluluğun bozulma olasılığı ise $(D_0)^n$ olarak hesaplanır.

Diğer yandan kısa devre tipi hata için bozulma olasılığı D_c ile gösterilir. Bu topluluğun bozulma olasılığını içerir. Buna göre topluluğun bozulma olasılığı,

$$1 - (1 - D_c)^n$$

şeklinde hesaplanır.

Paralel yapılı sistemin güvenilirliği ise

$$R = (1 - D_c)^n - (D_0)^n$$

Olarak gösterilir. Bu paralel yapı açık devre hatalarına dayanıklıdır.

Bütün bu yapılar için, maksimum güvenilirlik sağlayan optimum sayıda eleman vardır. Eğer aynı anda her iki tip hata koruması gerekiyorsa, seri-paralel, veya paralel-seri yapıları gibi daha karmaşık yapılar kullanılmalıdır.

8. TAKTİK SAHA HABERLEŞMESİ

Askeri operasyonların başarısı için zamanında, doğru ve güvenli haberleşme sağlamak çok önemli hale gelmiştir. Bu haberleşme çalışmaları Komuta, Kontrol, Haberleşme, Bilgisayar ve İstihbarat (C4I) konsepti olarak adlandırılmıştır [2].

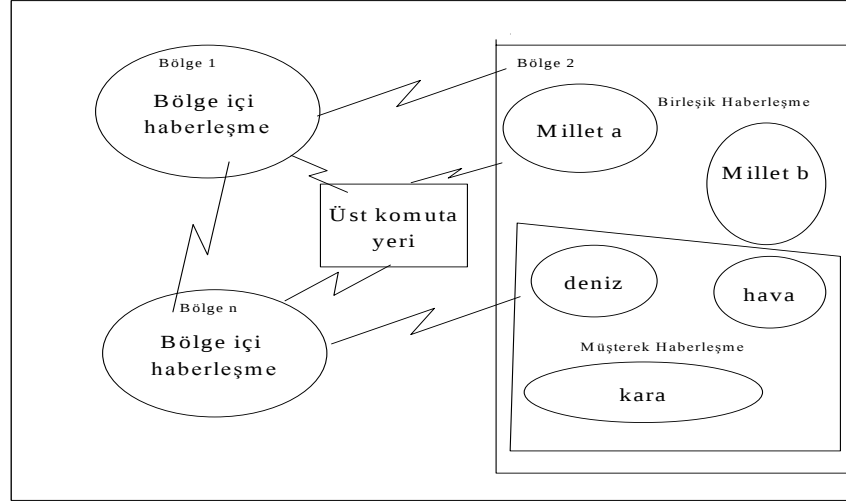
C4I terimi komuta kademesi ile operasyon bölgesindeki birliklerin bilgi alışverişinde bulunduğu, bilgilerin görüntülediği, yayınlandığı, işlendiği depolandığı, düzeltildiği, analiz edildiği birliklerin bütün seviyeleri ile haberleşmenin yapıldığı bir sistemdir.

C4I için en temel entegre haberleşme sistemi; liderler ve komuta merkezleri arasındaki raporları, emirleri bilgileri video, resim, yazı , grafik ve bunların birleşimi olarak güvenli ve zamanında taşıyabilmelidir. Operasyon alanları için etkili haberleşme her zaman en temel iş olmuştur. Yeni teknolojilerin ortaya çıkması haberleşmeyi çok önemli kılmıştır. Çünkü liderler yeni teknolojiler ile daha hızlı karar vermek, bilgi toplamak ve yaymak zorunda kalmıştır.

Savaşlar 1 ve 2nci Dünya Savaşında olduğu gibi çeşitli bölgelerde cereyan edebilir. Hatta tüm dünyayı da kapsayabilir. Öncelikle milli haberleşme sistemi kurulmalıdır. Bu bölgelerde çeşitli milletlerden silahlı kuvvetler olabilir. Aynı milletin değişik kuvvetleri ve farklı milletlerin değişik kuvvetleri olabilir. Çağdaş askeri haberleşmede birleşik ve müşterek haberleşme çok önemlidir. Bundan dolayı askeri haberleşme sistemlerini kapsamına göre küresel, bölgesel ve taktik saha haberleşmesi olarak üçe ayrılır.

Askeri haberleşme kullanıcıları piyade, tank, zırhlı araçlar, hava araçları, gemiler sensörler, radarlar, karıştırıcılar ve silah sistemlerinden hepsi veya birkaçı olabilir. Bu kullanıcılar değişik karakteristiklere sahiptir.

Askeri komuta kontrol sistemi komuta zincirini takip ederek hareket eder. Düşük seviyelerdeki liderlerce raporlar görüşülüp, yazılıp üst makamlara yayınlanır. Üst makamlardan alt makamlara da yayınlanır ve her makamda detaylanır.



Şekil 8.1 Askeri Haberleşme Hiyerarşisi

8.1 Askeri Haberleşmenin Karakteristikleri

- 1) Değişik hız yapılarına sahiptir. Bazı kullanıcılar süpersonik hızda ilerlerken bazıları çok yavaş hareket edebilir. Hatta bazıları sabit sistemler olabilir.
- 2) Çok çeşitli terminal tipleri mevcuttur. Video kamera, radar, sonar, termal kamera gibi algılayıcılar, tek kanal telsizler, bilgisayarlar birbirine bağlanabilir.
- 3) Çeşitli haberleşme mesafeleri vardır. Haberleşme küresel, bölgesel ve taktik sahada olabilir. Bu mesafe operasyon bölgesi seviyesine göre birkaç metre ile binlerce kilometre arasında olabilir.
- 4) Çeşitli haberleşme ortamları kullanılabilir. Hatlar kablo, fiberoptik, hava ve deniz üzerinden olabilir.
- 5) Hızlı değişen haberleşme bölgeleri olabilir. Askeri haberleşme yerleri operasyon bölgesi değişmesine bağlı olarak süratle değişir.
- 6) Düşmana ait veya gürültülü yerler olabilir. Haberleşme sistemi düşmanın öncelikli hedeflerindendir. Karıştırma sistemleri ve patlayan bombalar haberleşme sistemleri için gürültü yaratır.
- 7) Yoğun bir haberleşme trafiği vardır. Belirli zamanlarda herkes aynı anda haberleşmek ister.
- 8) Değişik haberleşme ivedilikleri vardır. Bazıları hemen gönderilmesi gerekirken bazılarının zaman sınırı yoktur.

9) Değişik güvenlik kısıtları vardır. Bazı veriler gizli değilken bazıları çok gizli olabilir.

8.2 Askeri Haberleşme İçin Sistem Gereklere

Günümüzde yapılan harplerin gerektirdiği esnek savaş stratejisi ve düşmanın imkan ve kabiliyetleri, oldukça hareketli taktik kuvvetlere ihtiyaç gösterir. Komuta yerleri sık sık ve süratle yer değiştirebilmeli bu komuta yerlerinden bazıları yer değiştirme sırasında kesintisiz haberleşmeye devam edebilmeli ve ana haberleşme sistemine tekrar çabuklukla bağlanabilmelidir. Tesis edilecek haberleşme merkezi komuta yerleri hakkında düşmana bilgi vermemeli düşmanın elektronik harp faaliyetlerine karşı dayanıklı olmalıdır.

Büyük birliklerin ileri kademesindeki unsurları için temel haberleşme aracı telsiz çevrimleri olmalıdır. Geri kademede ise haberleşme çok kanallı sistemlerle olmalıdır. İlerideki birliklerin bir kısmı da çok kanallı sisteme doğrudan girebilmelidir.

Buna göre askeri haberleşme sistemleri aşağıdaki önemli gereklere sağlamalıdır:

- 1) Çokluortam haberleşmesi
- 2) Mobil ağ yapısı
- 3) Mobil ve hızlı değişen altyapı
- 4) Kalıcı, çok fonksiyonlu, modüler, esnek altyapı
- 5) Karasal olmayan ağ
- 6) Yatay ve dik seviyeli haberleşme kabiliyeti
- 7) Yüksek devre kapasitesi ve geniş band
- 8) Güvenli ağ
- 9) Gerçek zamanlı ve kümeli ağ
- 10) Her arazi ve hava koşulunda çalışma kabiliyeti

8.3 NATO'nun 2000 Sonrası Taktik Haberleşme Sistemleri

Nato haberleşme sistemlerinde çoğu haberleşme personeli tarafından bilinen üstttten alta, soldan sağa doğru irtibatlar sağlanır. Bu bir üst komutanlığın bir alta, soldaki birliğin sağdakine irtibat kuracağı anlamına gelir. Karmaşık ve çok fazla miktarda cihaz kullanılması yukardan aşağıya ve soldan sağa doktrinini uygulamanın zor olmasına sepep olmuştur. Çok uluslu bir çalışma ortamında birleşik hareketlarda kullanmak üzere cihazlara ortak standartlar getirilmiştir [3].

Gelecekteki haberleşme planlaması, koordinasyon ve standardizasyon ihtiyacı, 2000 sonrası kara savaşları taktik haberleşme standartlarını geliştirmek için NATO Proje Grubu 6'yı (PG/6) oluşturmuştur. 10 PG/6 üyesi ülkeler Kanada, Fransa , Almanya, İtalya, İngiltere, Hollanda, Norveç, İspanya, Portekiz, ve Amerika'dır. Ayrıca bu proje grubu Müttefik Haberleşme ve Bilgisayar Güvenlik Ajansı (ACCSA), Müttefik Taktik Haberleşme Ajansı (ATCA), Avrupa Müttefik Kuvvetler Baş Karargahı (SHAPE), SHAPE Teknik Merkezi ve NATO Endüstri Danışma Grubu tarafından desteklenmektedir.

NATO 2000 sonrası taktik haberleşme için gerekli operasyonel ihtiyaçlar kolordu ve bağlı birlikleri ve destek ünitelerini kapsamaktadır. Bu taktik birlikler NATO bölgesinde hızlı ve sık sık hareket edebilmelidir. Bu kuvvetler güvenli, devamlı, zamanında birleşik çalışmaya uygun haberleşme ihtiyaçları vardır. Bu haberleşme birimleri NATO ve Milli Stratejik Ağları birbirine bağlayabilmelidir.

Alt sistemlerindeki çeşitli uzak servis ve diğer haberleşme sistemleri ile uygunluğu ihtiyaçlarını karşılamak mümkün oldukça ticari standartlara sahip taşıyıcı birimleri kullanma esasına dayalıdır. Bu uzak servisler ses intercom, yarı dubleks telefon, mesaj işleme, sistem yönetimi, güvenlik yönetimi, faks, grafik transferi , gerçek zaman veri transferi, resim, düşük ve yüksek hız görüntü transferlerini kapsar.

NATO Kuvvetleri verilen görevleri yapabilmesi için aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- 1) Yüksek kuvvet hareketliliği
- 2) Aktif bölgelerde gelişen yığınaklanma
- 3) Uzman kullanıcı terminalleri
- 4) Dağınık karargahlar ve haberleşme düğümleri için büyük yönetim sistemleri

- 5) Elektronik karşı tedbirlere gelişmiş direnç.
- 6) Gelişmiş sistem giriş yetkilendirilmesi ve kript anahtar yönetimi
- 7) Operasyon bölgesi stratejik ve sivil ağları, müttefik taktik lokal ağları gibi çevresel sistemlerle koordinasyon.
- 8) Uluslararası alanda frekans yönetimi

Haberleşme mimarisi çok uluslu güç haberleşme cihazları ile tamamıyla uygun çalışabilmelidir. Cihazların ve alt birimlerinin değişimine izin vermelidir. Taktik ve stratejik ağlarla sorunsuz bağlanabilmeli, milli ve ticari ağlara bağlantı esnekliği sağlamalıdır.

Her ülke hedef mimariye uygun olarak kendi yapısına ve bütçesine göre sistemlerini geliştirme olanağı sağlamalıdır. Birbirleriyle çalışma uygunluğu karakteristiği milletlere teknolojiden bağımsız fonksiyonlarda uygulama özgürlüğü tanır.

Haberleşme sistemleri mimari dizayn olarak modüler bir yapıya sahip olmalı ki muhtemel bütün NATO görevlerini yerine getirebilsin. Güç yapısı ve savaş alanındaki hızlı değişikliklere bağlı olarak mimari birliklerin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde olmalıdır.

Genel mimari teknoloji ve performans olarak ticari sistemlere dayalı olsa da belli askeri ihtiyaçlar mevcut sistemlerde değişiklik yapılarak elde edilebilmektedir. Güvenlik hizmetleri, giriş kontrolü, düşman çevrede kullanılabilme, elektronik harp ortamına uygun olma özelliği olmalıdır. Ayrıca küresel konumlama, zamanlama ve dost-düşman tanıma sistemleri ile entegre olmalıdır.

Mimari 4 altsistemden oluşur. Dar Alan Altsistemi (LAS), Geniş Alan Altsistem (WAS), Mobil Alt Sistem (MS), Sistem Yönetimi ve Kontrolü Altsistemi (SMCS). Entegre bir güvenlik mimarisi de haberleşmeye güvenlik sağlar.

Dar Alan Altsistemi (LAS), belli sınırlar içinde kalan karargah gibi yerlerin yerel ve iç haberleşmesi için tasarlanmıştır. LAS aynı zamanda kullanıcıların WAS'a giriş , stratejik ağa erişim ve ticari ağlara bağlantı imkanı sağlayan bir alt sistemdir. LAS modüler bir sistemdir ve çeşitli ağ topolojilerine (meshed, bus , halka ve ağaç) uygun olarak şekillendirilebilir. LAS'ın en önemli parçası standart ATM hücrelerini taşıyan LAS iskeletidir. Düşük birlik seviyelerinde mobil olma gerekliliğinden dolayı

8.4 A.B.D Askeri Taktik Haberleşme Sistemi

Bugün A.B.D. askerleri komuta ve kontrol desteği için en gelişmiş askeri bilgi sistemleri vardır. Askerler hareketleri kontrol, topçu ateş kontrolü, hava savunması istihbarat toplama ve yayma, lojistik destek için yüksek hızlı bilgisayar sistemleri, faks, karasal ve uydu tabanlı ses ve veri haberleşmesi kullanmaktadır.

A.B.D. askeri birlikleri en son taktik bilgi sistemleri ile donatılmışlardır. Mobil Abone Cihazı (MSE) güvenli ses, veri, faks iletimi sağlayan sabit merkez ve mobil dijital haberleşme sistemidir. Bu ayrıca ilk A.B.D. hücresel telefon sistemidir [4].

Tek Kanal Yer ve Hava Telsiz Sistemi (SINCGARS) ITT ve General Dynamics tarafından geliştirilen güvenli ses, veri, faks iletimi sağlayan bas konuş sistemli bir telsiz cihazıdır.

Manevra Kontrol Sistemi (MCS) bir bilgisayar tabanlı komuta kontrol cihazıdır. İlk olarak A.B.D. Taktik Komuta Kontrol Sistemi (ATCCS) kullanmıştır. Bu aynı zamanda ilk ortak askeri taktik yazılım donanım konsepti oluşturmuştur.

TRI-TAC sistemi çalışmaya başlamasıyla (Triservice Tactical) anahtarlama cihazı ile analog yapıdan dijital yapıya geçiş sağlanmıştır. TRI-TAC analog ve dijital çalışma, ve mükemmel otomatik devre anahtarlama sağlar. Bu sistem ayrıca mesaj saklama ve tekrar mesajı başka abonelere gönderme (forward) özelliği vardır.

MSE telefonları ve yeni nesil Askeri Ağ Telsizleri (SINCGARS) veri servisleri için bağlantı soketleri vardır. Bu bilgisayarların ve faksların bu cihazlarla uyumunu sağlar.

Ordu Taktik Komuta ve Kontrol Sistemi (ATCCS) bir tane daha haberleşme sistemi vardır. O da Ordu Veri Dağıtım Sistemi (ADDS)'dir. Savaş Alanı Otomasyon Sistemi (BAS) ve bazı yardımcı sistemler taktik bilgisayarları kullanmaktadır. MCS bir BAS sistemidir ve ortak bilgisayar donanım üzerinde ile Unix işletim sistemi ile çalışır. Ayrıca elektronik haritalama ve komuta kontrol veri iletimi, manevra kontrol, bilgisayar ve haberleşme terminalleri iletişimi sağlar.

Küresel Yerleşim Sistemi (GPS) ile askerler grit koordinatları üzerindeki kendi yerlerini tespit edebilir ve bir noktadan diğerine doğru bir şekilde ulaşabilir. Bu sistem Körfez Savaşında sıklıkla kullanılmıştır.

Ordu Taktik Komuta ve Kontrol Sistemi Çalışmaları şu şekildedir:

- 1) Alan Ortak Kullanıcı Sistemi (ACUS) ,Savaş Ağ Telsizleri (CNR), Ordu Veri Dağıtım Sistemi (ADDS);
- 2) Bütün Haberleşme Sistemleri ile Hava Kara operasyonlarında gerekli menzil genişletme çalışmaları;
- 3) Otomasyon Sistemleri;
- 4) Harekat bölgesi taktik haberleşme sistemlerinde bilgi kaynaklarının kontrol ve yönetimi;
- 5) Bilgi sistemleri ve haberleşme sistemlerindeki bilgi kaynaklarının güvenliği; çerçevesinde yapılmaktadır.

8.5 Çok Kanallı SHF Sistemi

Çok kanallı taktik saha uydu sistemleri DSCS II ve DSCS III uydularını kullanır, 7.25 -8.4 frekans aralığında çalışır. Deniz, hava ve kara kuvvetleri bu sistemleri kullanır. A.B.D. kara ve deniz kuvvetleri AN/TSC 85 ()/93 (), hava kuvvetleri ise AN/TSC- 94A /100A sistemlerini kullanır. Bu çokkanallı taktik saha haberleşme sistemleri FDMA kullanır. Bundan dolayı frekans tahsisi ve yukarı güç kontrolü gerekir.

Çok kanallı uydu sistemleri esas olarak anahat tesisi için dizayn edilir. Ayrıca komuta ve kontrol ihtiyaçlarının çok gerekli olduğu durumlarda, karasal haberleşme sınırlarının aşıldığı değişik bölgelerde olan savaş alanlarında, esnek değişken alanlarda haberleşme ihtiyaçlarının olduğu, hat devamlılığının gerektirdiği durumlarda taktik saha haberleşme sistemleri kurulur.

8.5.1 AN/TSC-85 Taktik Saha Haberleşme Sistemi

AN/TSC-85 () Taktik saha haberleşme sistemleri S-280 şelteri içinde kurulur. Bu sistem römorka monteli AS-3036/TSC (2.5 m çaplı anten) ile çalışır. Bu terminal ayrıca 6 m. çaplı AS-3199/TSC antenle de çalışır.

Kaldırım tarafındaki dört rafta temelband cihazları (multiplexer , demultiplexer), yol tarafındaki dört rafta modemler IF (arafrekans) ve RF cihazları bulunur. Bu sistem nükleer, biyolojik ve kimyasal ortamlarda çalışır.

Uydu terminalinin her parçası (şalter ve anten platformu) karadan, havadan (C-130, C-141 , veya helikopterle), demiryolu ile ve denizden taşınabilir.

AS-3036/TSC anteni ile üç personelle 30 dakika içinde kurulur.

AN/TSC –85 Uydu Terminali Düğüm olarak aşağıdaki imkanları sağlar:

- 1) 48 içten çoklayıcı ses ve/veya dijital veri kanallı SHF yukarı taşıyıcı ve ayrıca dışardan çoklanmış 48 ses ve/veya veri kanalı iletimi.
- 2) Aşağı bağlantıda 4 taşıyıcı alınabilir, demodülasyonu yapılabilir, ve kullanıcılar için anahtarlanabilir.
- 3) 15 Kilowatt, 3 faz, 5 kablolu dizel jeneratör ile veya dengi bir güçle çalışır.
- 4) Düğüm olan veya olmayan noktadan noktaya , hub-spoke ve melez modlarda hat sağlar.(şekil 8.3 den 8.5 e kadar) [16].
- 5) DSCS uydu çıkışları ve savunma haberleşme sistemi girişi ile bağlantı sağlar.

8.5.2 AN/TSC-93 Taktik Saha Haberleşme Sistemi

AN/TSC-93 terminali 2.5 tonluk genel maksatlı kargo aracına monteli S-250 şalteri içinde taşınır. Bu terminal AS-3036/TSC (2.5 m. lik) anten ile çalıştırılır. Her kamyon römorka monteli dizel jeneratör çeker.

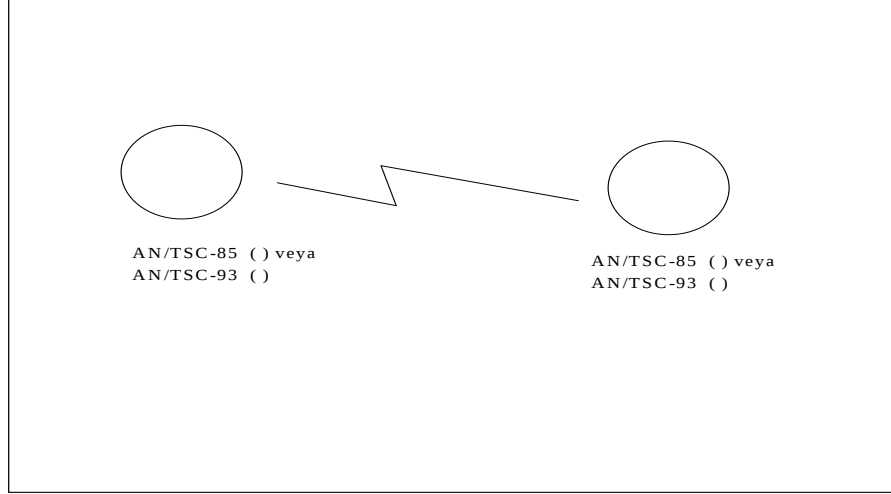
Kaldırım tarafındaki 3 rafta temel band cihazları (çoklayıcılar), yol tarafındaki 3 rafta ise modem, IF ve RF cihazları bulunur.

AN/TSC-93 () terminalleri içten çoklanmış 24 kanal ses ve veriyi SHF yukarı iletimini sağlar. Düğüm olmayan diğer terminalle noktadan noktaya, düğüm olan terminalle hub-spoke olarak bağlanır.

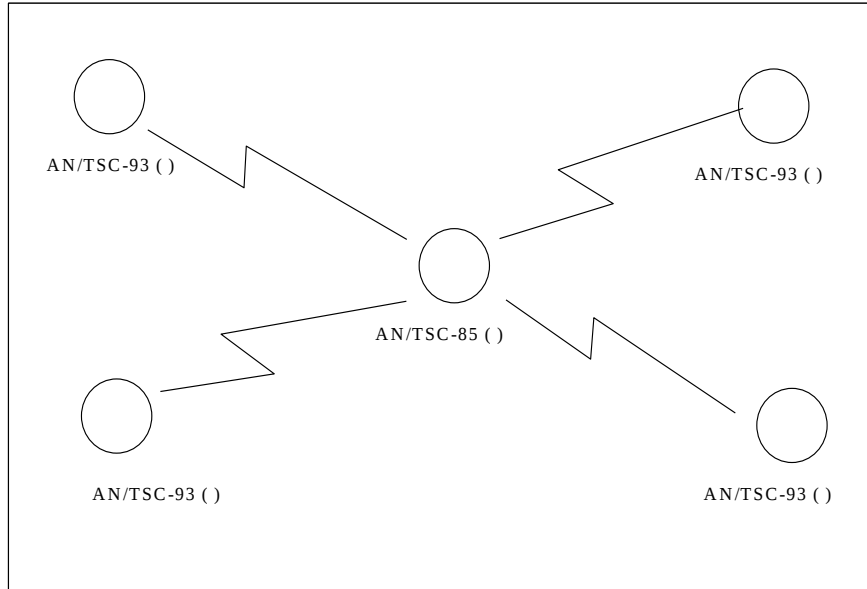
Aşağı link tarafında 1 SHF kanalını alır, demodülasyonunu ve anahtarlamasını sağlar. 10 Kilowattlık 3 faz 5 kablolu dizel jeneratörle veya eşdeğeri güçle tam bağımsız olarak görev yapar.

DSCS uydu çıkışı ile savunma haberleşme sistemi arasındaki bağlantıyı sağlar.

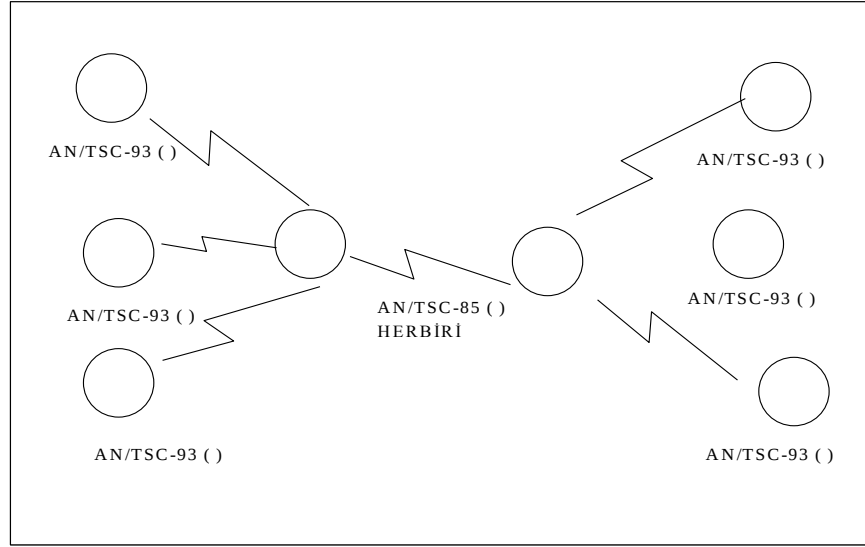
Tablo 8.1’de bu cihazların teknik özellikleri ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 8.3 Terminallerin noktadan noktaya bağlanması



Şekil 8.4 Terminallerin Hub-Spoke Şeklinde Bağlanması



Şekil 8.5 Terminallerin Melez (hybrit) Şekilde Bağlanması

Tablo 8.1 Uydu Haberleşme Terminalleri Teknik Özellikleri

ÖZELLİKLER	AN/TSC-85B	AN/TSC-100B	AN/TSC-93B	AN/TSC-94B
YUKARI BAND	7,9 to 8,4	7,9 to 8,4	7,9 to 8,4	7,9 to 8,4
AŞAĞI BAND	7,25 to 7,75	7,25 to 7,75	7,25 to 7,75	7,25 to 7,75
ANTEN ÇAPI (feet)	8 (20)	8 (20)	8	8
G/T (dB/K)	18 (26)	18 (26)	18	18
ALICI RF BW (MHz)	500	500	500	500
HPA TİPİ	klystron	klystron	klystron	klystron
HPA (Watt)	2x 500	2x 1000 (a)	500	2 x 500
EIRP (dBW)	100 (105)	103 &108 (b)	100	100
HPA BW (MHz)	40	40	40	40
YUKARI ÇEVİRİCİLER	1	1	1	1
AŞAĞI ÇEVİRİCİLER	4 (c)	4	1 (d)	1
IF BW (MHz)	40	40	40	40
ŞELTER	S-280/G	S-280/G	S-250/G	S-250/G
NOTLAR	(a) :yaklaşık 1800 W (b) :2,5 W ekle (c) :artı 2 boş (d) :artı 1 boş (e) :HPA hariç			

9. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu tez çalışmasında uydu haberleşmesinin temelleri olarak haberleşme sistemleri, haberleşme uyduları, uyduların avantajları, karasal sistemlerle karşılaştırılması, band genişlikleri, frekans bandları, antenler ve yörüngeler anlatılmıştır. Modülasyon tekniklerinden genlik, frekans ve sayısal modülasyon teknikleri incelenmiştir. Uydulara çoklu erişim teknikleri anlatılmıştır. Özellikle sayısal sistemlerde hata olasılıklarını azaltan kodlama konusu ele alınmıştır. Uydu sistemlerinin yerleştiği yörüngeler, uyduyu etkileyen kuvvetler açıklanmıştır. Uydu sistemlerinin güvenilirliği ve elverişliliği anlatılmıştır. Bu konuda uyduların hata oranları, güvenilirlikleri, ortalama ömürleri, uydu sistemleri elverişliliği, alt sistemlerin güvenilirliği ayrıntılı olarak incelenmiştir. Uyduların taktik saha iletişimde kullanılması ise komuta kontrol sistemlerine büyük yararlar sağlamıştır. Askeri kullanımda, askeri haberleşmenin karakteristikleri, sistem gerekleri, Nato ve A.B.D'nin uydu sistemleri ile taktik saha iletişimde kullanımları araştırılmıştır.

Teknolojinin her yönünde yıllardır önemli araştırmalar ve gelişme çalışmaları yapılmıştır. Uyduların güç üretme kapasiteleri, uydu ve yer istasyonu antenleri, diğer sistemlerdeki performansları biçimlendirilmiş, bölgesel kapsama alanları geliştirilmiştir. Ayrıca fırlatma ve uzay aracı uygunluğu artmış, ömürleri birkaç yıldan 12-15 yıla uzamıştır. Yer istasyonlarının boyutları ve maliyetleri önemli ölçüde küçülmüştür. Bu da doğrudan kullanıcı isteklerini karşılama ve portatif telefonlar için de çalışma ortamı sağlamıştır.

Çoklu kullanım şemaları, modülasyon ve kodlamadaki gelişmeler uydunun daha etkin bir şekilde kullanımını sağlamıştır.

Genelde dünya çapında uydu haberleşmesi gelişmesi benzer bir yapı izlemiştir. Çoğu zaman teknolojinin başlangıcı devlet tarafından desteklenmiş ve ilk çalışmalar uluslararası ve milli telefon hatlarının birleştirilmesi olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonraları uydu haberleşmesi devlet tarafından lisans verilmek şeklinde ticari şirketlere geçmiştir. Uydu ve yer istasyonu maliyetleri düştükçe haberleşme

olanakları özel şirket ağlarına hizmet olarak genişlemiştir. En son olarak da kişisel hizmet verme noktasına ulaşılmıştır. Yakın zamanlarda kişisel haberleşmede beklenen önemli gelişme çalışmaları hızlandırmıştır. Uydu haberleşmesinin karlılığının anlaşılması ile bir çok ülke bu konudaki potansiyelini arttırmaya başlamıştır.

Uydu sistemlerinin güvenilirliği, verilen yaşam ömrü içinde doğru işlem yapma olasılığı olarak ifade edilir. Uydularda rastlantısal ya da zamanla kullanımdan dolayı iki şekilde bozulma meydana gelir. Rulmanlar gibi mekanik elemanlarda yıpranma, sınırlı çalışma ömürleri olan hareketli dalga tüplerinde katodların bozulması, enerji kaynaklarının azalması veya tükenmesi bozulmaya yol açar.

Rastlantısal olan bozulmalarda en önemli faktör anlık hata oranı $\lambda(t)$ 'dir. Anlık hata oranı $\lambda(t)$ çok küçük belli zaman aralığında bozulan cihazların çalışanlara oranıdır. Banyo teknesi eğrisine göre elektronik cihazlarda başlangıçta hata oranı süratle azalır. Belli bir süre sonra hata oranı yaklaşık sabit bir seviyede kalır. Yaşam ömrü sonlarına doğru yıpranma periyodunda hata oranları yine artar. Uydu sistemleri için başlangıç hataları test aşamasında giderilir.

Hata oranı fonksiyonu olarak, uydu sistemi güvenilirliği hesaplanmaktadır. Bozulma oranı yada güvensizlik ise güvenilirliğin tümleyeni olarak hesaplanmaktadır. Anlık bozulma olasılığı güvensizliğin zamana göre türevidir. Anlık bozulma olasılığından da belli bir t periyodu içinde bozulma olasılığı hesaplanır.

Uydu sistemlerinin ortalama ömrü ya da ortalama hata yapma süresi, uydu sisteminin hizmete girmesinden sonra ilk hatanın ortalama meydana gelme süresidir. İlk hatanın ortalama meydana gelme süresi, anlık hata olması olasılığından elde edilir. Uydu sistemleri güvenilirliği seri ya da paralel alt sistemlerin ve anahtarların güvenilirliği dikkate alınarak da hesaplanır.

Uydu sistemleri elverişliliği ise uydu sistemlerinin çalışması gereken zamanla bozulduğu zaman arasındaki farkın, çalışması gereken zamana oranı olarak tanımlanır.

Belli bir elverişlilik değeri için gerekli uydu sayısı, ortalama ömür, başarılı fırlatma olasılığı, uydunun planlanan kullanım süresi, ilk hata olması ortalama süresi cinsinden hesaplanır.

Bu çalışmada uydu sistemlerinin güvenilirlik ve elverişlilik incelemesi matematiksel olarak ele alınıp ayrıntıları ile ifade edilmiştir.

Uydu haberleşmesinde gelecekte de gelişmeler sürecektir. İlgili alanlardaki yenilikler ve buluşlardan uydu haberleşmesi de etkilenecektir. Tek noktadan geniş coğrafi alanlardaki çok noktaya yayın konusunda uyduların büyük avantajları vardır. Birçok uygulama için servis sağlayıcılar uydu, fiber optik, mikro dalga telsiz sistemi, hücresel ve diğer mobil uygulamalar gibi iletim alternatiflerine sahiptir. Bundan dolayı uydu haberleşmesi diğerleri ile yarışmak, gelişmek zorundadır. Bazı uygulamalarda birkaç alternatif birleştirilerek daha az maliyetle servis sağlanmış olur.

Uydu haberleşmesinin gelişimini, fiber optikteki gelişmeler, entegre anahtarlı sayısal ağ (ISDN)'daki gelişmeler, mobil haberleşmedeki talep artışı, düşük maliyetli yer istasyonlarına olan talep artışı, ülkelerin çıkar ortamı, doğrudan yayın sistem kapasiteleri etkiler.

Fiber optik sistemleri sabit uydu sistemlerinin gelişimini etkiler. Bazı fiber optik hatların olduğu yerlerde iletimin buraya kaydırılması doğaldır. Yaklaşık yirmi yıldır uydu haberleşmesi ve fiber optik birlikte büyük gelişmeler sağlamıştır. Fiber optikte uydu sistemlerine göre daha az gecikme ve yankı vardır. Uydu fırlatma ve çalışmaya göre riski azdır. Gürültüden fazla etkilenmezler ve ömürleri daha fazladır. Buna karşın uydu sistemleri bir noktadan çok noktaya yayında, küçük hatlarda, yayın ve mobil haberleşme sistemlerine uygunluk, merkezden ekstra iletim yolu maliyeti azlığı, bozulma anında düşük onarım zamanı, fiziksel tahrip olasılığı azlığı, kablo döşeme zorluğu ve maliyeti olmayışı konularında avantajlıdır..

İletim hatlarında en son noktaya ulaşım problemi de çok önemlidir. Ülkelerarası hatlarda fiberoptik bitiş noktası trafik noktalarından uzaktır. Avrupa ve Amerika arasındaki okyanusu aşan fiberoptik kablusunun Avrupa tarafında kablo okyanusa kıyısı olan ülkede biter. İç tarafta kalan bir ülke bu noktadan içe doğru karasal kısmı için ayrıca ödeme yapmak zorundadır. Birçok ülke diğer ülke sınırları içinden geçen kablo hattını kullanmak istemeyebilir. Uydu haberleşmesi bu son mil denen problemi ortadan kaldırır.

Diğer bir konu ise bölgelerin gelişmişlik seviyeleridir [13]. Fiberoptik sistemler gelişmiş bölgelerden gelişme ihtimali olan bölgelere doğru yapılması düşünülür.

Uydu haberleşmesi bütün bölgeler için eşit sistem kurma hizmet getirme olanağı sağlar. Örnek olarak ISDN avantajları uzak bölgelere uydu haberleşmesi sayesinde gelmiştir. Eğer fiberoptik hatlarının kurulması beklenseydi bu süre çok uzun olabilirdi.

Noktadan noktaya bağlatılar için uydu haberleşmesinin mi, yoksa fiberoptik ile haberleşmenin mi daha avantajlı olması, gerekli maliyet ve mesafe gözönüne alınarak karar verilir. Uydu sistemleri mesafeden etkilenmezler ancak trafik miktarından etkilenirler. Fiberoptik hatlar ise mesafe arttıkça maliyeti çok artar. Ancak bu hatlar da trafiğe göre hassas değildir. Bundan dolayı uydu sistemleri daha çok, düşük trafikli hatlarda kullanılması uygun olur. Ya da trafiğin yoğun olduğu ve fiberoptik hattının bulunduğu yerlerde uydu haberleşmesinin bir kısmı fiberoptiğe kaydırmak suretiyle etkin haberleşme sağlanabilir.

Uydu haberleşmesini etkileyecek diğer bir alan da ISDN'in çıkışıdır. İki uydu arasında olan devreler sinyal kalitesi ve gecikmeyi belli bir seviyede karşılayabilirler. Uydu sistemleri ve fiberoptik ISDN hizmeti sunmalarına karşın bu hizmet için uydunun şu avantajları vardır:

- Geniş coğrafi alanlara ISDN hizmetini ulaştırabilme
- Genişband ISDN hizmeti sunabilirler.
- İsteğe göre trafiğin düzenlenmesi ile daha esnek bir sistemin oluşturulabilir.

Gelecekte çalışılacak, geliştirilecek konular öncelikle uydularası bağlantı ve Ka bandının (27-40 GHz aralığı) kullanımındaki şu anki problemlerinin giderilmesi konusunda olacaktır.

20-30 GHz bandı gibi yüksek frekansların kullanılması için Avrupa Uzay Ajansı Olympus uydusunu geliştirmiştir. Bu frekansların kullanıldığı Ka Bandının birçok avantajı vardır. Bu avantajlar şunlardır:

- Geniş kitleye uygun olarak çok küçük yer istasyonu anteni ile kullanılabilir.
- Bu kanal, karasal ve uzay sistemleriyle fazla kullanılmadığından sistemler arası koordinasyon problemleri azdır.
- Coğrafi uzaklıktan dolayı frekansların tekrar kullanımı daha kolaydır.

Fakat bu frekans bandının sıklıkla kullanımını engelleyen bazı eksiklikleri de vardır. Birincisi yağmur dolayısıyla bu frekans bandında C (3.9-6.2 GHz)ve Ku bandına(15.35-17.25 GHz) göre daha fazla sinyal azalması meydana gelir. Ayrıca bu bandın kullanımı şu an için fazla yaygın olmadığından kullanılan cihazlar çok daha pahalıdır.

Uyduların birbirleriyle bağlantısının çeşitli avantajları vardır. Bunlardan birincisi GEO uydusunun kapsama alanını diğer uydularla bağlantı sayesinde büyük ölçüde genişletmektedir. Böyle bir ağın kapsama alanı uygun tüm uyduların kapsama alanları toplamıdır. Bir uydunun kapsama alanındaki yer istasyonu ISL ile genişletilmiş bir görüş imkanı sağlar. Uyduların maksimum açıklığı iletim gecikmesi ve engelsiz olarak birbirlerini görmesiyle sınırlanır. Uyduların gruplanması ile farklı hizmet veren servisler birbirlerine bağlanarak geniş bir ağ yapısı elde edilir. Örnek olarak mobil servis veren uydu ile sabit yer istasyonu hizmeti veren uydunun yan yana birbirleriyle gruplanması ile mobil yer terminalindeki bilgilerin mobil sistemlere ulaştırılması , LEO ile MEO uyduların gruplandırılması gibi.

Alçak ve orta yörüngedeki (LEO ve MEO) uydularının kullanılması mobil haberleşme için büyük ilgi çekmektedir. Böyle bir sistemde sabit yer istasyonları LEO uyduları sayesinde mobil istasyonlara bağlanır. Uyduların birbirleriyle bağlandığı bu sistemle dünya çapında ses iletimi sağlanır [14].

Askeri bir uygulama olarak Körfez savaşında uydu haberleşmesi çok etkin bir şekilde kullanılmıştır. Birkaç hafta içinde yüksek trafiğe sahip bir askeri haberleşme sistemini kurmak mükemmel bir teknoloji, eğitim ve komuta ilişkileri ile ortaya çıkmıştır. Körfez Savaşı başladıktan sonra hükümet yetkililerinden, endüstriden, üniversitelerden ve bilimadamlarından savaş hazırlıkları hakkında görüşleri alınmıştır [17].

Irak Kuveyt' i 1990 yılında işgal edince Basra Körfezi bölgesinde dramatik olaylar meydana gelmiştir. Birkaç ay içinde 540.000 'den fazla A.B.D. askeri personeli bölgeye yerleşmiştir.

A.B.D Askeri gücü teknik olarak en iyi sistemlerle donatılmıştı. Bu sistem çok kısa bir sürede kurulmuş, işletilmeye başlanmış ve yüzde 98'lik bir elverişlilik seviyesine ulaşmıştır. Operasyonun en hızlı geliştiği zamanda bu sistem günlük 700.000 telefon konuşması ve 152.000 mesaj trafiği başarıyla karşılanmıştır. Bu

trafik için 30.000 den fazla radyo frekansı en az karışma olacak şekilde yönetilmiştir. Bu anlamda Körfez savaşı uydu haberleşmesine verilebilecek en iyi örneklerden biridir.

Uzay sistemleri ise günümüzde savaş gücünün haberleşme kaynaklarının ana parçası olmuştur. Savaş ve normal operasyonlarda Fleetsat gibi UHF haberleşme uydusu kullanılmıştır.

Savaş başlangıcında 2 adet Savunma haberleşme sistemi kuruluş için hazır bulunmaktadır. Birincisi Hint Okyanusu Savunma Haberleşme Sistemi için, Almanya'nın Landstuhl kentinde kurulmuş uydu sistemi, ikincisi Doğu Atlantik Savunma Haberleşme Sistemi için, İngiltere'nin Croughton kentinde kurulmuş uydu sistemidir. Büyük çapta hızlı öncü birlik yığılması bu sistemlerin çabucak limitlerini zorlamaya başlamıştır. Bir ay içinde operasyon bölgesinde SHF uydu yer terminalleri sayısı 4'ten 48'e çıkmıştır.

Ocak 1991'de hava taarruzları başlamadan önce Savunma Uydu Haberleşme Sistemine (DSCS) ilave kapasite eklenmiş, NATO uyduları ayrıca ilave destek sağlanmış ve 11 adet T1 trunk devre kiralanmıştır. Yaklaşık haberleşmenin % 75'i Savunma Uydu Haberleşme Sistemi üzerinden, %5'i NATO uydularından, geri kalan %20'si de ticari uydular üzerinden sağlanmıştır. Sonradan Kara Kuvvetleri'nde kullanılmak üzere 127 kara mobil gücü ve DSCS ağır terminali ve 14 ticari terminal kurulmuştur.

Körfezde yığılmanın ilk haftasının ardından Ağustos 1990'da haberleşme Suudi Arabistan'da Riyat, Dhahran ve El Jubail'de Umman 'da da Thumrait'te 12 adet Kara mobil Uydu Haberleşme Terminalleri kurulmuştur.

Haberleşme ekipmanları, hava yolu taşımacılığı ve savaş güçleri öncelik arzeden konulardır. Harekat alanı içi, harekat alanları arasında haberleşme ağları ve karasal haberleşme bağlantıları noktadan noktaya uydu haberleşmesine yardım etmek ve yerine geçmek için kurulmaya başlanmıştır. Şubat 1991'de 8'i ticari olmak üzere 35 troposfer tabakası bağlantı sistemi kurulmuştur. Uydu bağlantılı ağ ve karasal bağlantılar, 300'den fazla Ses Savunma Anahtarlı Ağ (DSN) ve 26 Otomatik Dijital Ağ (AUTODIN) mesaj devresi, birçok data devresi sağlanmıştır.

1960'dan beri teknoloji ve C4 (Komuta, Kontrol, Haberleşme, Bilgisayar) sistemleri için doktrinler oldukça gelişmiştir. Körfez Savaşı böyle yüksek teknoloji

sistemlerinin kullanıldığı ilk çatışmadır. C4 sistem teknolojileri savaşın seyrini büyük ölçüde değiştirmiştir.

Sadece operasyon bölgeleri bağlantılarındaki değişiklikler değil aynı zamanda haberleşme ve bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler savaşın kazanılmasına büyük yarar sağlamıştır. Örneğin savaştaki komutanlar için gerekli güncel bilgiler 7000 mil uzaktan gelmiştir. Operasyon bölgesi ihtiyaçlarını mevcut teknoloji karşılamaya çabuk adapte olmuştur. Teknoloji ve mevcut kuvvetler operasyon bölgesindeki değişen durumlara uyacak şekilde esnektir.

Organizasyon yatırımları, seçilen standartların olabilecek krizlerin ihtiyaçlarının üzerinde olması, eğitime yatırım, eğitim çalışmaları, doktrin geliştirme çalışmaları, uydu ve bilgisayar sistemleri ve yeni buluşların desteklenmesi sayesinde Amerika Birleşik Devletleri bu savaşı kolayca kazanmıştır.

Sonuç olarak Körfez savaşında A.B.D uydu haberleşmesi ile büyük avantajlar sağlamıştır. Savaşın kazanılmasında uydu haberleşmesi çok etkili olmuştur. Ülkemiz de bu tecrübeler ışığında ilerleyecek ve uydu haberleşmesi konusunda ilerlemeler kaydedecek ve bölgemizdeki etkinliğini sürdürecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **James M.**, 1978, Communications Satellite Systems, Prentice Hall, USA
- [2] **Maxwell, A.**, 1996 . Joint Training for Information Manegers , National Defense University ,
- [3] **Wing C. and Sive E.**, 1995 . IEEE Communications Magazine October
- [4] **Brendler J.**, 1992 . IEEE Communications Magazine January
- [5] **Calcutt, D.**, 1994. Satellite Communications , Computape Ltd, London
- [6] **Richaria , M**, 1995. Satellite Communications Sistems, Mac Millan Press Ltd, London.
- [7] **Miller, M.**,1995. Satellite Communications Mobile and Fixed Services, Kluwer Academic Publishers, USA.
- [8] **Arıboğan, O.** 2000,. Vsat’larda Veri İletimi ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Ristenbatt, M.P** 1973, Alternatives in Digital Communications , Proc.IEEE Vol 61, pp 703-721
- [10] **Viterbi A.J** 1971, Convolution Codes and Performance in Communications Systems IEEE Trans. Commun. Technology, com-19, October , pp 751-772
- [11] **Elbert B. ,** 1989, Introduction to Satellite Communications , Artec House Inc. London
- [13] **Casas, J.** 1988,. The Role of Satellites in the ISDN Era , Networks ’88, June, London
- [14] **Maral, G.**,1993, Satellite Communications Systems, John Wiley and Sons Ltd.West Sussex,England
- [15] **Çayırıcı, E.**, 2000. Application of the 3G PCS technologies to the mobile subsystem of the next generation tactical communications systems, Ph D Thesis, Boğaziçi University, İstanbul
- [16] **O’Neil D. P.**,1992 The Rapid Deployment Digital Satellite Network ,IEEE Communications Magazine, January 1992., pp 30-34
- [17] **Toma J. S.**, Desert Storm Communications, IEEE Communications Magazine, January 1992., pp 19-21
- [18] **Ercan,A.**1999.Satellite Communications Systems,Yüksek Lisans Tezi, Yeditepe Üniversitesi,İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

10 Aralık 1971 tarihinde Balıkesir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Balıkesir’de tamamladı. 1985 yılında Kuleli Askeri Lisesi’ne girdi. 1989 yılında Kara Harp Okulu’na başladı. 1993 yılında muhabere subayı olarak mezun oldu. Şu an Muhabere Elektronik Bilgi Sistemleri Okulu ve Eğitim Merkezi Komutanlığında görev yapmaktadır.