

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GSM EL DEĞİŞTİRMENİN YAPAY SİNİR
AĞLARIYLA MODELLENMESİ**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Osman BÜYÜKEROĞLU

**FBE Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Prof. Dr. Tülay YILDIRIM

Doç. Dr. Sedef KENT

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GSM 'e GİRİŞ	3
2.1 GSM 'in İşlevselliği	3
2.2 Çağrı Yönetimi ve Çağrı İşleme.....	3
2.2.1 Radyo Yönetimi.....	3
2.2.2 Mobilite Yönetimi	4
2.2.3 Güvenlik	4
2.2.4 Ücretlendirme	4
2.2.5 Mantıksal Mimari	4
2.2.6 Ağ Anahtarlama Sistemi.....	4
2.2.7 Baz İstasyonu Sistemi.....	5
2.2.8 Hareketli İstasyon (Hİ)	6
2.3 Fiziksel Mimari	7
2.3.1 Fiziksel Alt Yapı.....	7
2.3.2 Ağdaki Bilgi Dağılımı	8
2.3.3 GSM Sistemlerinde Arama ve Konuşma.....	8
3. HAREKETLİ HABERLEŞMEDE İŞARET YAYILMASI	10
3.1 Radyo Dalga Yayılımı	11
3.2 İletim ve Alım Sinyal Modelleri.....	12
3.3 Serbest Uzay Yol Kaybı	14
3.4 Işın Takibi.....	15
3.4.1 İki-Işın Modeli.....	17
3.4.2 On-Işın Modeli (Dielektrik Kanyon).....	20
3.4.3 Genel Işın Takibi	22
3.4.4 Ortalama Yerel Alınan Güç.....	26
3.5 Deneyisel Yol Kaybı Modelleri.....	26
3.5.1 Okumura Modeli	26
3.5.2 Hata Modeli	27
3.5.3 COST 231 Hata Modeli Eklentisi.....	28
3.5.4 Parçalı Lineer (Çok-Eğimli) Model.....	28
3.5.5 Kapalı Alan Zayıflama Faktörleri.....	29
3.6 Basitleştirilmiş Yol Kaybı Modeli.....	31
3.7 Gölge Sönümlleme	32
3.8 Birleştirilmiş Yol Kaybı ve Gölgeleme	36

4.	HÜCRESEL EL DEĞİŞTİRMENİN TEMELLERİ	37
4.1	El Değiştirmeye Giriş	37
4.1.1	El Değiştirme Çeşitleri	37
4.1.2	El Değiştirmenin Nedenleri	40
4.2	El Değiştirme Algoritmasının Karmaşıklığı ve İstenen Özellikleri:	43
4.2.1	El Değiştirme Algoritmasının İstenen Özellikleri	43
4.2.2	El Değiştirme Algoritmasının Karmaşıklıkları	45
4.3	Hücresel Sistemin Detayları	46
4.3.1	Makro Hücreler	46
4.3.2	Mikro Hücreler	47
4.3.3	Makro Hücre/Mikro Hücre Örtüleri	51
4.3.4	Özel Hücre Mimarileri	52
4.3.5	Kablosuz Entegre Sistemler	55
4.4	El Değiştirme Kriterleri	57
4.5	Geleneksel El Değiştirme Algoritmaları	59
4.5.1	Sinyal Gücü Tabanlı Algoritmalar	60
4.5.2	Mesafe Temelli Algoritmalar	63
4.5.3	SIR Tabanlı Algoritma	63
4.5.4	Hız Uyumlu Algoritma	64
4.5.5	Yön Ön Koşullu Algoritmalar	64
4.5.6	Minimum Güç Algoritması	65
4.5.7	RSS ve BER Tabanlı Algoritmalar	65
4.6	Gelişen El Değiştirme Algoritmaları	66
4.6.1	Dinamik Programlama Temelli El Değiştirme Algoritmaları	66
4.6.2	Patern Tanıma Tabanlı El Değiştirme Algoritmaları	66
4.6.3	Tahmine Dayalı El Değiştirme Algoritmaları	67
4.6.4	Yapay Sinir Ağı El Değiştirme Algoritmaları	67
4.6.5	Bulanık Mantık El Değiştirme Algoritmaları	67
4.7	El Değiştirme Önceliği	68
4.7.1	El Değiştirme Önceliğine Giriş	68
4.7.2	El Değiştirme Önceliği Sistemleri	69
4.8	El Değiştirme ve Diğer Kaynak Yönetimi Görevleri	70
4.8.1	Kaynak Yönetimine Giriş	70
4.8.2	Kaynak Yönetimiyle Birleştirilmiş El Değiştirme Algoritmaları	71
4.9	El Değiştirme Protokolleri	72
4.9.1	Ağ Kontrollü El Değiştirme Algoritması	73
4.9.2	Hareketli İstasyon Destekli El Değiştirme	74
4.9.3	Yumuşak El Değiştirme	75
4.9.4	Hareketli İstasyon Kontrollü El Değiştirme	77
4.10	Sonuç	77
5.	EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMALARININ ANALİZİ	78
5.1	El Değiştirme Performans Ölçme Sistemi	78
5.2	El Değiştirme Hesaplama Mekanizması	80
5.2.1	Analitik Yaklaşım	80
5.2.2	Simülasyon Yaklaşımı	80
5.2.3	Emülasyon Yaklaşımı	84
5.3	Bir Makro Hücre Simülasyon Modeli	84
5.4	Bir Mikro Hücresel Simülasyon Modeli	88
5.5	Bir Üst-Örtü Simülasyon Modeli	90

6.	GSM EL DEĞİŞTİRMENİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ ...	92
6.1	Uygulanan Mikro Hücre Simülasyon Modeli	92
6.1.1	Hücre Modeli:.....	92
6.1.2	Uygulanan Yayılma Modeli	93
6.2	El Değiştirme Modeli	98
6.3	Kullanılan Yapay Sinir Ağları.....	99
6.4	Yapay Sinir Ağı Uygulaması.....	100
7.	SONUÇLAR.....	104
	KAYNAKLAR.....	105
	ÖZGEÇMİŞ.....	109

SİMGE LİSTESİ

a	Deneysel yol kaybı sabiti
b	Deneysel yol kaybı sabiti
d_c	Kırılma noktası
f_c	Taşıyıcı frekansı
g	Deneysel yol kaybı sabiti
G	Radyasyon paterni
G_{ALAN}	Ortam kazancı
h	Histeresiz
h_r	Alıcı yüksekliği
h_t	Verici yüksekliği
L	Eşik seviyesi
p	Korelasyon
P_r	Alınan sinyal gücü
P_t	Yayılan sinyal gücü
γ	Yol kaybı sabiti
ϵ_r	Yerin dielektrik sabiti
θ	Geliş açısı
λ	Dalga boyu
$\Delta\phi$	Faz farkı
τ	Gecikme
σ	Standart sapma

KISALTMA LİSTESİ

AMPS	Advanced Mobile Phone System
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Station Transceiver System
C/I	Carrier-to-Interference Ratio
CCH	Control Channel
CCI	Co-channel Interference
CDMA	Code Division Multiple Access
CIR	Carrier-to-Interference Ratio
DCA	Dynamic Channel Assignment
DECT	Digital European Cordless Telephone
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA
Ed	El değıştirme
EIR	Equipment Identity Register
FCA	Fixed Channel Assignment
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FIFO	First In First Out
FLCA	Flexible Channel Assignment
GEO	Geostationary Earth Orbit
GIT	Genel Işın Takibi
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
Hİ	Hareketli İstasyon
HLR	Home Location Register
IS-95	Interim Standard-95
LA	Location Area
LCR	Level Crossing Rate
LEO	Low Earth Orbit
LMA	Local Mean Attenuation
LOS	Line of Sight
MAHO	Mobile Assisted Handover
MCBS	Multichannel Bandwidth System
MCHO	Mobile Controlled Handover
MCSHO	Multi Channel Soft Handover
MPH	Minimum Power Handover
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MTSO	Mobile Telephone Switching Office
NCHO	Network Controlled Handover
NLOS	Non Line of Sight
NSS	Network Switching System
PLM	Parçalı lineer modeli
PN	Pseudo Noise
PR	Pattern Recognition
QoS	Quality of Service

RBF	Radial Basis Function
RSS	Received Signal Strength
SACCH	Slow Associated Control Channel
SAT	Supervisory Audio Tone
SIM	Subscriber Identity Module
SCSHO	Single Channel Soft Handover
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
UHF	Ultra High Frequency
VLR	Visitor Location Register
YED	Yumuşak El Değiştirme
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 NSS 'in mantıksal yapısı.....	5
Şekil 2.2 BSS in mantıksal yapısı.....	6
Şekil 2.3 GSM sisteminin mantıksal mimarisi.....	7
Şekil 3.1 Yol kaybı, gölgeleme ve çok-yollu yayılımın uzaklıkla değişimi.....	11
Şekil 3.2 Doppler kayması.	14
Şekil 3.3 Yansıyan, kırılan ve saçılan dalga bileşenleri.	16
Şekil 3.4 İki-ışın modeli.	18
Şekil 3.5 İki ışın modeli için alınan gücün mesafeyle değişimi(Godsmith,2005).....	20
Şekil 3.6 On-ışın modelinin üstten görünüşü.	21
Şekil 3.7 Bıçak-sırtı kırınım.	24
Şekil 3.8 Saçılma.	24
Şekil 3.9 Yol kaybı için parçalı lineer modeli.....	29
Şekil 4.1 BSC içi el değiştirme.....	38
Şekil 4.2 MSC içi el değiştirme.....	39
Şekil 4.3 MSC arası el değiştirme.	40
Şekil 4.4 Hücresel Sistemde El Değiştirme Senaryosu.	41
Şekil 4.5 El değiştirmeden Beklenen Özellikler.....	44
Şekil 4.6 Bir makro hücredeki yedi hücreli küme. (kluster)	47
Şekil 4.7 Mikro hücresel sistemde yarım kare hücre planı.....	49
Şekil 4.8 Mikro hücresel sistemde tam kare hücre planı.	50
Şekil 4.9: Mikro hücresel sistemde dikdörtgen hücre planı.	50
Şekil 4.10 Bir Mikro/Makro Üst-örtü Sistemi.....	51
Şekil 4.11 Bir alt-örtü/üst-örtü sistemi.	53
Şekil 4.12 Bir çoklu-kanal bant genişliği sistemi.	54
Şekil 4.13:El değiştirme Algoritmaları.....	59
Şekil 4.14 İki Seviyeli El Değiştirme Algoritması.....	62
Şekil 4.15 El değiştirme protokolleri için gecikme ve ölçüm bilgisi.	73
Şekil 5.1 El Değiştirme Algoritmalarının Analiz Prosedürü.....	78
Şekil 5.2 Simülasyon Modelinin Bileşenleri.....	81
Şekil 5.4. Komşu 4 Baz İstasyonlu Hücre Modeli.	85
Şekil 5.4 Mikro hücresel Sistemde Genel El Değiştirme Senaryoları.....	88
Şekil 5.5. Üst-örtü sistemi için hücre yapısı.....	90
Şekil 6.1 Mikro hücre şehir içi modeli.	92
Şekil 6.2 Tek bir baz istasyonundan alınan LOS sinyalin mesafeyle değişimi.....	94
Şekil 6.3 Tek baz istasyonundan alınan (NLOS) sinyal.....	95
Şekil 6.4 İki baz istasyonu arasındaki (LOS) sinyal seviyeleri.....	95
Şekil 6.5 İki baz istasyonundan NLOS yol için alınan sinyal seviyeleri.....	96
Şekil 6.6 Dört baz istasyonundan LOS ve NLOS durumda alınan sinyal seviyeleri.	96
Şekil 6.7 Baz istasyonlarından gelen sinyallerin pencereleme sonrası sinyal seviyeleri.	97
Şekil 6.8 İki LOS baz istasyonundan ortalama sonrası alınan sinyal seviyeleri.	98
Şekil 6.9 Geleneksel histeresiz kullanan yöntem.	99
Şekil 6.10 RBF ağının yapısı.....	100
Şekil 6.11 Kullanılan Algoritma Yapısı.....	102
Şekil 6.12 Ortalama el değiştirme sayılarının karşılaştırılması.....	103

ÇİZELGE LİSETESİ

	<i>Sayfa</i>
Çizelge 3.1 Tipik bölme kayıpları	30
Çizelge 3.2 Tipik yol kaybı parametresinin değerleri	32
Çizelge 6.1 El değiştirme karar çizelgesi	102

ÖNSÖZ

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği anabilim dalı Haberleşme programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı el değiştirmenin ve el değiştirme algoritmalarının detaylarıyla ele alınması, kullanılan propagasyon modellerinin analizi ve yapay sinir ağı temelli bir el değiştirme algoritması modellenmesidir.

Bu tezin hazırlanmasında ve çalışmalarım sırasında değerli yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ 'e ve Aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Kablosuz haberleşme sistemlerinde haberleşmenin kesintisiz olarak devam etmesini sağlayan en önemli prosedür el değiştirmedir. Bir mobil istasyonun hizmet alınan bazdan veya frekanstan başka bir baz veya frekansa transferine el değiştirme denir. El değiştirme algoritmaları bu işlemi en iyi şekilde yapabilmek için tasarlanmaktadır. El değiştirmenin karmaşıklığı sebebiyle bu algoritmalarda çok çeşitli ve özellikli olmaktadır. Yapay sinir ağları kullanarak bir çok girdiye sahip el değiştirme algoritmalarının performansı artırılabilir. Bu çalışma el değiştirmenin temellerini, kullanılan algoritmaları, propogasyon modellerinin temellerini incelemekte ve yapay sinir ağlarıyla temel bir algoritma modeli sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: El değiştirme, El değiştirme algoritmaları, propogasyon modelleri, hücre modelleri, yol kaybı, gölge sönümleme, yapay sinir ağları.

ABSTRACT

Handover is the most important procedure that provides continuous communication in wireless communication system. Handover is the process of transferring a mobile station from one base station or channel to another base station or channel. Handover algorithms are modelled to achieve this process completely. Due to complexity of the handover, algorithms have a lot of types and features. ANN is can be used to improve the performance of the algorithm that has a lot of inputs. In this project the handover fundamentals, propagation models and fundamentals, handover algorithms are analysed and a basic ANN algorithm model is introduced.

Key Words: Handover, handover algorithms, propagation models, cell models, path loss, shadowing, ANN

1. GİRİŞ

Hücresel haberleşme sistemlerinin en önemli özellikleri hareket eden kullanıcılara devamlı bir haberleşme olanağı sunmasıdır. Bunun için hizmet verilecek bölgelere alt yapıyı sağlayacak sistemler kurulur. Hizmet verilecek alan sistemin sağlıklı bir şekilde işleyebilmesi için farklı boyutlarda parçalara bölünür. Bu parçaların en küçüğü hücrelerdir. Sistemin işleyişinin temeli bu hücre üzerine oturtulmuştur. Her bir hücreye kullanılacak spektrumdan kanallar tahsis edilir ve bunun için hücreye baz istasyonları yerleştirilir. Baz istasyonları hiyerarşik bir yapıda birbirlerine bağlanarak santraller, bölgeler ve bütün bir kapsama alanı oluşturulur. El değiştirme hareket eden kullanıcıların hizmet aldığı baz veya frekanstan farklı bir baz veya frekansa geçmesidir. Farklı özellikteki sistemlerde ve koşullarda bu işlem farklılıklar gösterir. El değiştirmenin güvenilir, sorunsuz ve hızlı yapılması hareketli kullanıcıya kesintisiz bir kablosuz haberleşme sağlamak için en önemli konudur. Bu sebeple bu işlemi yöneten ve karar veren algoritmaların sürekli olarak gelişmeleri ve artan ihtiyaçlara cevap verebilirliklerini korumaları gerekmektedir. El değiştirme kararı haberleşme kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Zamanında yapılmayan el değiştirme hizmet kalitesinin düşmesine, çağrının kaybedilmesine, yeni oluşacak çağrıların kayıplarına, trafik ve işlem yükünün ve interferansın artmasına sebep olmaktadır. Fazla sayıda yapılan el değiştirme ise kaynakları tüketerek hizmet verilecek abone sayısının azalmasına ve işlem yükünün artmasına sebep olur. Bu sebeple optimum sayı ve durumu bulmak için farklı parametrelerin ve yöntemlerin kullanılmasına başvurulur. Bu durumda kararın ve işlemin karmaşık bir hal almasına sebep olur. Literatürde bu yönde yapılan çalışmalarda gerçek ölçümlerden elde edilen bilgilerle simülasyonlar üzerinde yöntemlerin sınanması yoluna gidilmiştir. Gelişen yapıları ve getirdiği kolaylık sebebiyle son zamanlarda yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile yapılan çalışmalar ağırlık kazanmaktadır. Yapay sinir ağlarıyla bir çok verini ve farklı kriterlerin arasında en optimum kararın verilmesi mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada ikinci bölümde GSM sisteminin tanımı ve alt yapısı hakkında bilgiler verilmiştir

Üçüncü bölümde hücre içerisindeki alınan sinyal gücünün hesaplanması için gereken temeller verilmekte ve bu alanda kullanılan deneysel modeller ve bunların temelleri açıklanmaktadır.

Dördüncü bölümde el değiştirmenin temellerine, karmaşık yapısına ve çeşitlerine değinilmektedir. El değiştirmenin gerçekleştiği hücre yapıları anlatılmakta ve mevcut el değiştirme algoritmalarına, bu algoritmaların kullandıkları parametrelere, gelişmekte olan

algoritmalar anlatılmaktadır. El değiştirme önceliği, kaynak yönetimi ve el değiştirme protokolleri de incelenmiştir.

Beşinci bölümde el değiştirme algoritmaları analiz edilerek yapılan yaklaşımlara değinilmiştir. Simölasyon yaklaşımının detayları üzerinde durulmuş farklı simölasyon senaryoları incelenmiştir.

Altıncı bölümde mikro hücre içerisinde belirlenen sinyal modeli ile sinyal değişimleri hesap edilmiş. Mevcut ortamdaki sinyal değişimi ve hareketli istasyonun hareketine bağlı olarak yapay sinir ağlarıyla el değiştirme karar mekanizması modellenmiştir. Yapay sinir ağlarının bu işleme uygulanabilirliği gösterilmiştir.

2. GSM 'e GİRİŞ

Global System for Mobile Communication (GSM),European Telecommunications Standards Institute (ETSI)'ye bağlı bir çalışma grubu tarafından geliştirilmiştir. GSM dünyada ilk olarak Finlandiya'da kullanılmaya başlamıştır. Finlandiya'nın coğrafi yapısı, hava şartları yerleşim alanlarının dağılımı kablosuz haberleşme sisteminin geliştirilmesi için bir itici güç oluşturmuştur. 1982 yılında bu amaca hizmet eden bir sistem üzerinde deneyler yapılmaya başlanmıştır.

Aşağıda GSM 'in genel kavramlarına değinilecektir. İlk olarak GSM 'in genel kavramları üzerinde durulduktan sonra sistemi oluşturan ağın mantıksal yapısı incelenecek ve bileşenlerin görevleri hakkında bilgiler verilecektir. Son olarak ta ağın fiziksel yapısı ele alınacaktır.

2.1 GSM 'in İşlevselliği

GSM gibi bir hareketli telefon ağının öncelikli hedefi hareketli telefona sahip olan abonelerin her yerden telefon görüşmesi yapabilmesine olanak sağlamaktır. Bunu başarabilmek için çağrı yönetimi, çağrı işleme, radyo yönetimi, mobilite yönetimi, ücretlendirme ve güvenlik gibi başlıca fonksiyonların yerine getirilmesi gerekmektedir. Aşağıda bunlara kısaca değinilecektir.

2.2 Çağrı Yönetimi ve Çağrı İşleme

Bir abone bir numara çevirdiğinde ağın ona bir cevap vermesini bekler; eğer aranan aboneyle bağlantı kurulabilirse çalıyor tonu, kurulamazsa da hata tonu duymayı bekler. Bunu yerine getiren sisteme çağrı yönetimi ve çağrı işleme denir. Çağrı yönetimi çağrının oluşturulması ve sonlandırılması ile ilgilenir. Bu aranan ve arayan arasında doğru yön seçiminin yapılmasını da kapsar. Çağrı işleme ise çağrının başlatılması ve sonlandırılması arasındaki tüm işlemlerdir. Örnek olarak trafik anahtarlama, hataların giderilmesi ve yeniden yönlendirme verilebilir.

2.2.1 Radyo Yönetimi

GSM 'deki kablosuz haberleşme radyo haberleşmesiyle sağlanır. Radyo ile haberleşmek için her iki tarafın karşı tarafın hangi frekansları kullandığını bilmesi gerekmektedir. Bu bütün ülke boyunca kullanılan antenler tarafından belirlenir. Hareketli istasyon bir antenle haberleşmek istediğinde ihtiyacı olanı bulmak için frekansları tarar. Bütün bu radyo kontrolü ile ilgili bölüme radyo yönetimi denir.

2.2.2 Mobilite Yönetimi

Abonelerin her yerde çağrılarını alabilmesi için ağı hareketli istasyonun nerede olduğunu bilmesi gerekir. Hareketli istasyonun olduğu bölge dışındaki yerlerdeki ağı yükünü azaltmak için hareketli istasyon ağı o anki konumunu bildirir. Böylece hareket ettiğinde ve ona ulaşılması gerektiğinde sadece onun çevresindeki antenler onunla iletişim kurmaya çalışır. Aynı sebeple hareketli istasyon kapanırken ve açılırken de ağı bilgi gönderir. Hareketli istasyonun hareket kabiliyeti ilgili tüm işlemlere mobilite yönetimi denir.

2.2.3 Güvenlik

Haberleşme radyo dalgaları ile yapıldığında radyo alıcısına sahip herkes haberleşmeyi dinleyebilir. Bunu engellemek için haberleşmenin şifrelenmesi gerekir. Bu ağı güvenlik fonksiyonlarından biridir. Diğer bir yöntem ise istendiğinde kimlik doğrulama (authentication). Böylece sahtecilik önlenir ve kontrol sayesinde cihazda kontrol edilerek çalıntı telefonların kullanımına engel olunur.

2.2.4 Ücretlendirme

Ücretlendirme abonelerin hareketli telefonu kullanmasının kaydının tutulması ve faturalandırılmasıdır. Ücretlendirme hareketli telefonun bulunduğu yer ve zamana bağlı olarak farklılık gösterir. Ayrıca operatörler arası çağrılar içinde farklı tarifeler uygulanır.

2.2.5 Mantıksal Mimari

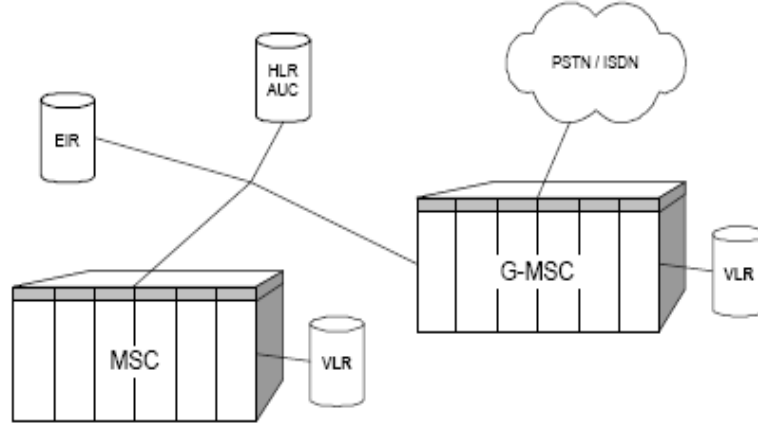
GSM ağı iki mantıksal bölüme ayrılır. Ağ anahtarlama alt sistemi (NSS) ve Baz İstasyonu Alt Sistemi (BSS). NSS çağrı işleme, mobilite yönetimi, güvenlik ve ücretlendirme gibi abonelerle ilgili fonksiyonlardan sorumlu iken BSS hareketli istasyonlarla yönelik olan radyo sistemi ile ilgili fonksiyonları yönetir.

2.2.6 Ağ Anahtarlama Sistemi

NSS çağrı işleme bölümü hareketli anahtarlama merkezi (MSC) ve Gateway-MSC de bulunur. İlk BSS 'leri birbirine bağlarken ikincisi PSTN, ISDN ve Internet gibi ağları birbirlerine bağlar.

Abonelerle ilgili fonksiyonlar birçok bölüme dağıtılmıştır: Home Location Register (HLR), Visitor Location Register (VLR), Authentication Center (AUC), Equipment Identity Register (EIR) gibi. EIR, HLR ve VLR abonelerin bilgilerinin bulunduğu veritabanlarıdır. HLR belirli bir operatör için cep telefonun nerede olduğu, abone kimlik bilgileri gibi her türlü veriyi tutan bilgi bankasıdır. VLR ise belirli bir MSC sınırları içinde servis verilen abonelerin HLR deki bilgilerinin kopyasını geçici olarak tutar. Bu HLR ile gereksiz haberleşmeleri engeller. Abone bilgilerinin HLR den VLR 'ye kopyalamak ağıdaki mobilite yönteminin bir parçasıdır. AUC

bütün güvenlik operasyonlarını yönetir(Kimlik tespiti, anahtar kaydetme gibi). HLR 'nin bir parçası gibi işlem görür. EIR kara-listedeki hareketli istasyonların bulunduğu listedir. Bunlar çalıntı, bozuk ve izinsiz cihazlardır. Bir hareketli istasyon GSM ağına girdiğinde EIR ile kontrol edilir. Eğer bu listede ise ağdan çıkarılır. EIR ağına daha iyi işlemlerini ve dolandırıcılığı önleyen opsiyonel bir cihazdır. Şekil 2.1 de NSS 'in mantıksal mimarisi görülebilir.



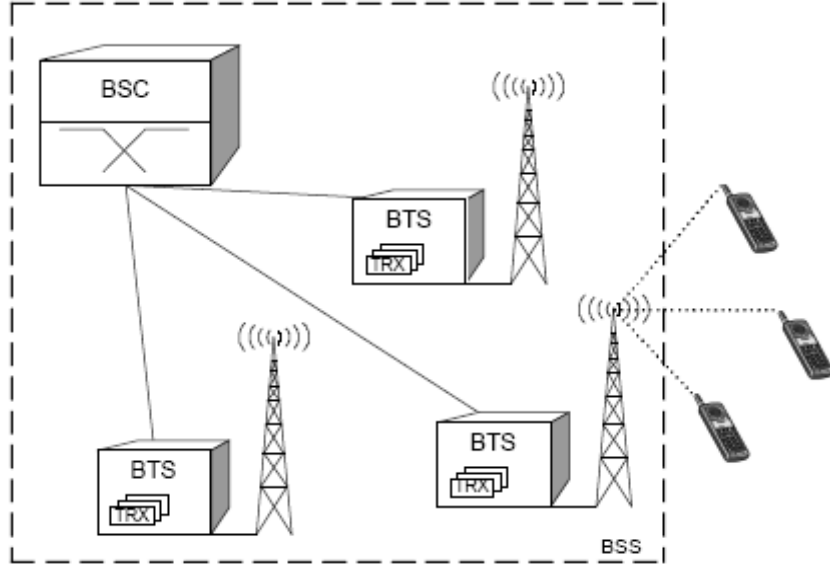
Şekil 2.1 NSS 'in mantıksal yapısı.

VLR dışındaki bütün bağımsız parçalar birbirleriyle direkt olarak iletişim kurar. VLR direkt MSC 'ye bağlıdır.

2.2.7 Baz İstasyonu Sistemi

BSS (Base Station System) öncelikli görevi Hİ ile bağlantı sağlamaktır ve bunu iki ayrı bölümle gerçekleştirir. Baz istasyonu Kontrolörü (BSC: Base Station Controller) ve BTS (Base Transceiver Station). BSC, BSS 'in kontrol birimidir ve birçok BTS ona bağlıdır. BSS 'deki karar verme mekanizmasını (mantıksal birim) barındırdığından bu bölümle ilgili kararların hepsi BSC de alınır. Örnek olarak el değiştirme(handover) verilebilir. BSC Hİ'nun yardımıyla farklı BTS 'lerden gelen sinyal kalitesi bilgilerini toplayarak el değiştirmeye gerek olup olmadığına karar verir ve hangi BTS in çağrıyı devam ettireceğini belirler. El değiştirme daha sonra kapsamlı olarak ele alınacaktır.

BTS, Hİ ile aradaki radyo bağlantısını kurmak için ülke genelinde araziye yerleştirilirler. BTS 'lerde fazla mantıksal birim bulunmaz. Daha çok radyo arayüzü ve omurga arasında köprü görevi yapar. Kararlar MSC veya BSC 'de alınır. Bir BTS her biri fiziksel antenleri kontrol eden birçok Verici/Alıcı(TRX) modülünü kontrol eder. Her TRX bir hücreyi tanımlar ve aynı anda 8 çağrıyı yönetebilir. BSS 'in mantıksal yapısı Şekil 2.2 de görülmektedir.



Şekil 2.2 BSS in mantıksal yapısı.

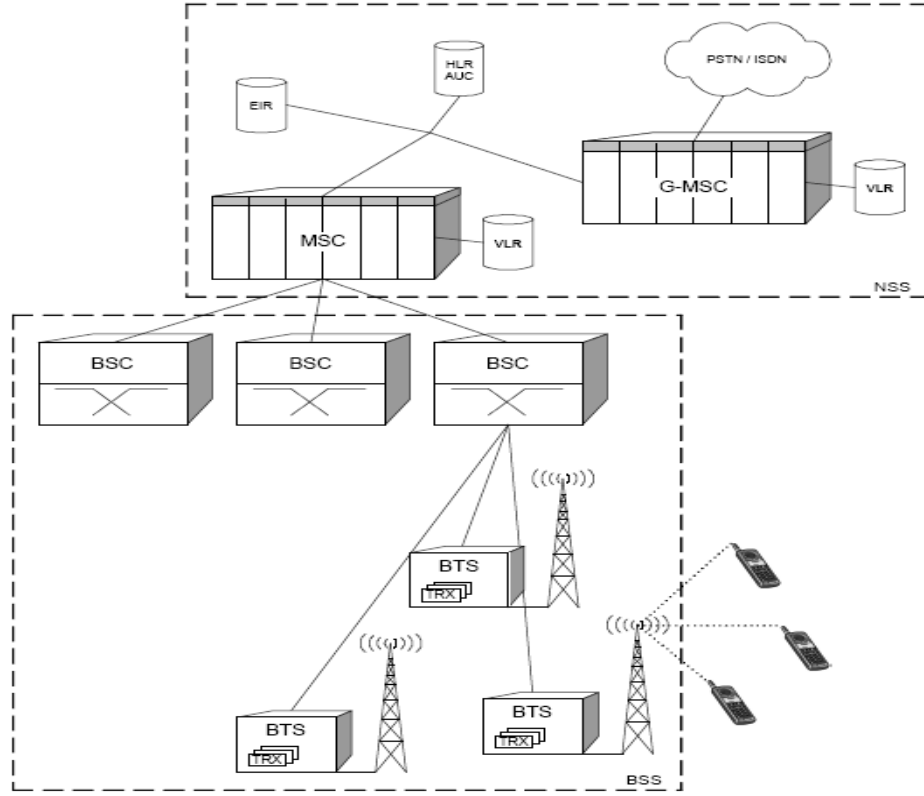
BSC altsistemi kontrol ederken BTS 'ler de Hİ ile aradaki radyo bağlantısını sağlamaktadır.

2.2.8 Hareketli İstasyon (Hİ)

GSM ağıyla haberleşmeyi sağlayan cihazdır. Buna örnek olarak geleneksel hareketli telefonlar ve laptoplarda bulunan PCMCIA kartları verilebilir. Hİ kablolu ağın bir parçası olmamasına rağmen ağın fonksiyonelliği ile ilgili olarak önemlidir. Hİ ağı radyo sinyal kalitesinin ölçülmesinde yardımcı olur ki bu el değiştirme kararı için önemlidir.

Kablolu telefon sisteminde telefon abonenin ağı eklendiği durumu temsil eder. Fakat bu durum abone kimliğinin ve cihazın farklı olduğu GSM de tam olarak aynı değildir. Hİ 'da bulunan SIM (Subscriber Identity Module) kullanıcının kimliğini temsil eder. Hİ, SIM olmadan kullanılamaz. Kimlik doğrulama (authentication) anahtarı, kodlama algoritmaları ve kullanıcı bilgisi SIM üzerinde kaydedilir. SIM takılıp çıkarılabilir olduğundan başka bir Hİ a bu kimlik bilgisi transfer edilebilir.

GSM ağının mantıksal yapısı özetlemek için daha önce verilen şekiller aşağıda birlikte verilmiştir. NSS haberleşme ile ilgili olan çağrı oluşturma, anahtarlama, yönlendirme ve sonlandırma gibi fonksiyonlara ilgilenirken; BSS mobilite ile ilgili olan telefonların yerlerinin belirlenmesi, radyo kaynaklarının kullanılması ve hareketli istasyonun herhangi bir yerle haberleşme kurmasıyla ilgilenir.



Şekil 2.3 GSM sisteminin mantıksal mimarisi

2.3 Fiziksel Mimari

2.3.1 Fiziksel Alt Yapı

GSM ağında en alt seviye kapsama alanı hücredir. Hücre bir BTS'deki tek bir TRX'in kapsadığı alana denir. Hücrenin yarıçapı TRX'in transmisyon gücüne bağlıdır fakat genellikle 1 ila 30 km arası değişir. Düşük nüfus dağılımlı bölgelerde transmisyon gücü en üsttedir ve tek bir TRX kullanılır. Şehir içinde ise BTS tipik olarak en az 3 TRX içerir ve her bir anten 120°'lik bir alanı kapsar. Çok kalabalık alanlarda BTS'lerin kontrol ettiği TRX sayısı 16'ya kadar çıkar.

Daha sonra gelen kapsama alanı seviyesi ise Location Area (LA)'dır. Bir LA belirli bir sınır içindeki hücrelerin kümesidir. BSC birçok LA'yı kontrol eder. Ağ bir Hİ ile temas kurmak istediğinde Hİ'nin içinde bulunduğu LA'deki bütün hücrelere komut gider. Bu nedenle LA'nın boyutu sinyalleşme bant genişliğinin tasarruflu kullanımı için önemlidir. LA'nın boyutu en çok alandaki abonelerin mobilitesine bağlıdır. Eğer kullanıcıların hareketi yerel ise LA'yı büyük tutmak değilse küçük tutmak gerekir.

Bir MSC'nin kontrolü altındaki kapsama alanı seviyesine MSC Servis Alanı denir. LA'ların birleşmesinden oluşur. Her LA yalnızca bir MSC Servis alanının parçasıdır.

Ağ operatörünün kapsadığı alana Umumi Karasal Hareketli Ağ Servis Alanı (PLMN) denir. Bir operatör bir PLMN servis alanına sahiptir.

GSM için en yüksek kapsama alanı seviyesi GSM servis alanıdır. Bu GSM operatörleri tarafından dünya üzerinden kapsanan alandır.

2.3.2 Ağdaki Bilgi Dağılımı

GSM ağının mantıksal mimarisi bölümlerin hiyerarşik bir sırada olduğunu gösterir. NSS, BSS leri kontrol eder ve BSC de BTS 'leri kontrol eder. Fakat NSS arasında bir sıralama yoktur. Tüm MSC 'ler kontrol olarak birbirine eşittir.

Ağın parçalarını kontrol etmek için her bölüm ağ hakkında bilgiye ihtiyaç duyar. Aşağıda kısaca ağdaki bilgi dağılımına değinilecektir.

HL: Ağın sabit kısımlarıyla ilgili hiçbir bilgiye sahip değildir. Açıldığı ve izin aldığı anda içinde bulunduğu LA ve hücre hakkında bilgi alır. BSC ve MSC ile ilgili bir bilgisi yoktur.

BTS: BTS radyo ile ağın kablolu kısmı arasındaki köprü olarak görev yapar. Hizmet verdiği hücreler ile ilgili bilgilerle ayarlamaları yapılır. Bu bilgi hücre kimliği ve radyo frekanslarını kapsar. BTS ayrıca *HL* 'nin haberleşmesini senkronize etmek için saat de içerir.

BSC: Ağ içinde karar verme yeteneğine sahip olan en düşük seviyeli bölümdür. Kontrol ettiği bütün BTS 'ler hakkında ve onların etrafındaki BTS 'ler ile fiziksel bağlantılarını hakkında bilgisi vardır. BSC ayrıca *HL* 'a hangi hücrenin radyo kalitesini ölçmesini söyleyebilmesi için kendi alanının çevresindeki komşu hücreler hakkında da bilgi sahibidir.

MSC: GSM ağın en üstteki parçasıdır ve ağ hakkında en çok bilgiye sahip olan kısımdır. Fakat tüm ağ hakkında bilgisi yoktur. Kendi servis alanındaki tüm hücre ve BSC 'leri ve bağlantılarını bilir. Belirli bir hücre kimliği verildiğinde kendi servis alanındaysa onun hangi BSC ye bağlı olduğunu belirler. Ayrıca kendi sınırlarındaki hücrelerin hangi MSC 'lerin kontrol ettiğini de bilir. Bu bilgi MSC ye el değiştirme yapılırken gerekir.

2.3.3 GSM Sistemlerinde Arama ve Konuşma

Konuşma her zaman 2 safhadan oluşur. Bunlar:

1. Sinyalizasyon safhası

Bir a numarasının b numarasını araması esnasında a numarası belirlenir ve güvenlik taraması yapılır, b numarasının yeri tespit edilir ve serbest veya meşgul olmasına bakılır.

2. Konuşma safhası

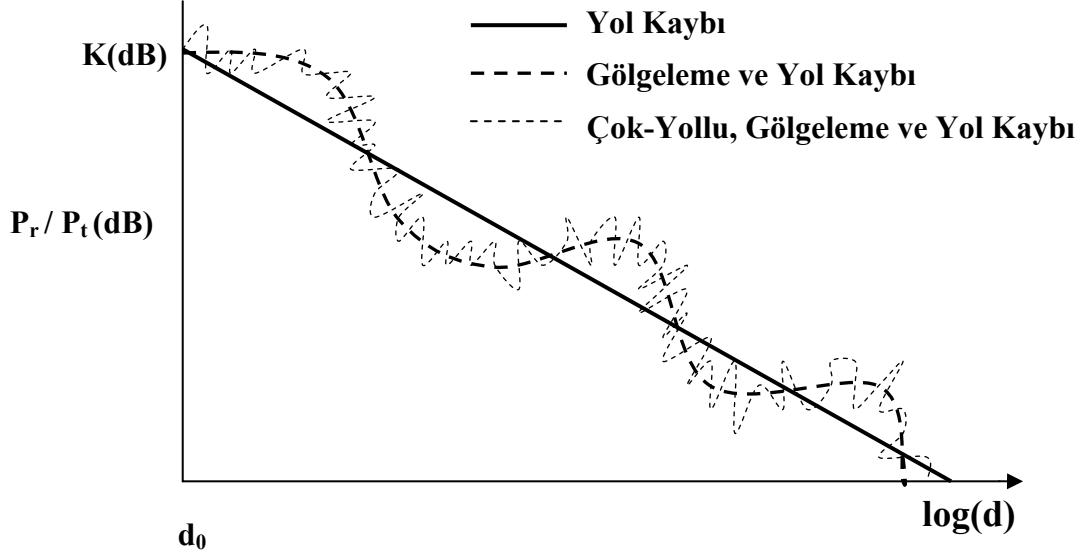
- a numarası öncelikli olarak bir baz istasyonu servis alanı (hücre) içinde olmalıdır. Hücreden alınan arama bilgisi radyo arabirimi üzerinden baz istasyonu vasıtası ile yere indirilir.
- Baz istasyonu bu yolla sinyali MSC 'ye iletir.
- Cep telefonu sinyalizasyon kanalı üzerinden Ki tanııtım anahtarı ile beraber IMSI / MSISDN ve görüşme yapmak istediğı b numarasını yollar.
- MSC, gelen talebi kontrol ettikten sonra onaylamasını yapar (IMSI, Ki) ve aranan b- numarasını inceleyerek onun önce nerede olduğunu bulmak amacı ile VLR 'dan bilgi alır.
- Eğer b numarası VLR 'ın kendi servis alanında değil ise, HLR 'a sorar. HLR, ülke genelinde bir cep telefonunun nerede bilgisine sahip bir veritabanıdır.
- Kontrol safhasında MSC, EIR (equipment identity register) veritabanından aboneyi sorar. Telefon tanımlı, kullanılan bir numara ise onay verir, çalıntı ya da borç yüzünden kapalı ise onay verilmez.
- Son olarak, AUC (authentication center) veritabanından abone araştırılır. AUC, tüm abonelerin SIM kartında bulunan güvenlik numarasını tutar.
- Tüm bu kontrollerden geçen abone için MSC-a aldığı bilgi ile diğer servis alanına bakan MSC-b 'ye başvurur.
- MSC- b gelen aramayı devam ettirmek için önce b- numarasının meşgul ve o hücre içinde tahsis edilecek boş kanal olup olmadığının kontrolünü yapar.
- Tüm kontrollerin yapılması sonucu, gerekli şartların sağlanması durumunda a- numarasının, b- numarası ile konuşması için gereken trafik kanalı verilir ve konuşma başlar. Konuşma boyunca A+ arabiriminde (hava telsiz yüzü) yapılan tüm konuşma Kc şifresi ile gönderilir. Bu şifre ancak cep ile MSC arasında bilinir ve MSC gelen şifreli mesajları bu anahtar ile açar. Konuşma bitince tahsis edilen tüm trafik ve sinyalizasyon kanalları geri alınır.

3. HAREKETLİ HABERLEŞMEDE İŞARET YAYILMASI

Kablosuz radyo kanalı yüksek hızda güvenilir haberleşme ortamı olarak bir çok farklı zorlu etkilere açıktır. Gürültü ve girişim haricinde diğer engellerin etkilerine karşıda hassastır. Fakat bu engeller zaman içinde kanalı kullananın hareketine bağlı olarak önceden tahmin edilemeyecek şekilde değişir.İlerdeki bölümlerde yol kaybı (path loss) ve gölgeleme (shadowing) sebebiyle alınan sinyal gücünün mesafe ile değişimi ortaya koyulacaktır.Yol kaybı, yayılım(propagasyon) kanalının etkisi olarak vericiden yayımlanan gücün azalarak kaybolmasıdır.Yol kaybı modellerinde genellikle gönderim-alım mesafesinde yol kaybı aynı varsayılır. Gölgeleme alıcı ve verici arasındaki engellerin soğurulma (absorption),saçılma (scattering), yansıma (reflection) ve kırınım (diffraction) ile sinyali zayıflatması sebebiyle oluşur. Zayıflatma çok güçlüyse sinyal engellenir. Yol kaybı sebebiyle oluşan değişimler uzak mesafelerde meydana gelirken (100 - 000 m) gölgeleme sebebiyle oluşan değişimler engellerin boyutlarıyla da orantılı olarak daha kısa mesafelerde de meydana gelirler (açık alanlarda 10-100m, kapalı alanlarda ise daha kısa mesafelerde).Yol kaybı ve gölgeleme sebebiyle oluşan değişimlerin nispeten uzak mesafelerle birlikte ortaya çıkması sebebiyle bu değişimlere geniş-ölçek yayılım etkileri (**large-scale propagation effects**) de denmektedir.

Çok-yollu ilerleyen sinyallerin sinyal bileşenleri üzerinde yapıcı ve yıkıcı etkileri mevcuttur. Bu sebeple oluşan etikler çok kısa mesafeler içinde öyle ki yaklaşık olarak sinyalin birkaç dalga boyu civarında veya çok kısa sürülerde meydana gelir. Bu yüzden oluşan değişimlere küçük ölçek yayılım etkileri (**small-scale propagation effects**) denir. “Şekil 3.1” de yayımlanan ve alınan gücün logaritmik mesafede yol kaybı, gölgeleme ve çok-yollu yayılımın birleşik etkileri ile değişimi dB cinsinden görülmektedir.

İlerdeki bölümlerde sinyal modelinin kısa bir tanımından sonra sinyal yayılımı için basit bir modelin açıklaması yapılacaktır. İki nokta arasın yayılan sinyal zayıflama ve yansıma olmadan serbest uzay yayılımı (yayılma) yasasını takip eder. İlerleyen bölümlerden ışın takibi yayılma modeli de açıklanacaktır. Bu modeller Maxwell denklemlerine göre yaklaşık olarak dalga yayılımını hesaplamak için kullanılırlar ve çok yollu bileşenlerinin sayısının küçük olduğu ve fiziksel çevrenin bilindiği durumlarda oldukça doğru sonuçlar verirler. Işın takip sistemleri, sinyalin yayıldığı ortamın dielektrik özelliklerine ve geometrisine oldukça bağlıdır. Deneysel modeller ve kapalı ve açık alan ölçümlere bağlı parametreler ile ilgili bilgiler ilerdeki bölümlerde verilecektir.



Şekil 3.1 Yol kaybı, gölgeleme ve çok-yollu yayılımın uzaklıkla değişimi.

Ayrıca sistem analizinde yol kaybının ilk etkilerini algılamak için basit ve genel bir model birkaç parametresiyle beraber anlatılacaktır. Birçok gölgeleyici engelin hesaba katıldığı log-normal gölgeleme modeline de değinilecektir. Çok-yollu yayılım eklentilerinin fazla olduğu ve ortamın geometrik ve dielektrik özelliklerinin bilinmediği durumlarda istatistiksel modeller kullanılmalıdır.

Bu bölümde yol kaybı ve gölgeleme ile ilgili modeller öz olarak anlatılacaktır.

3.1 Radyo Dalga Yayılımı

Maxwell ve Hertz in çalışmaları radyo haberleşmesinin başlangıcıdır. 1894'te Oliver Lodge bu prensipleri kullanarak ilk kablosuz haberleşme sistemini tasarladı. Fakat iletim mesafesi 150 metre ile sınırlıydı. 1897'de müteşebbis Guglielmo Marconi radyo sinyalini Wight adasından 18 mil uzaklıktaki bir gemiye göndermeyi başardı. 1901'de Marconi'nin kablosuz sistemi Atlantik okyanusunu geçebiliyordu. Bu ilk sistemler telgraf sinyallerinin iletimi için kullanıldı. 1906'da Reginald Fessenden tarafından düşük frekanslardaki yayılım limitlerini aşmak için bu günde kullanılan bir çeşit genlik modülasyonu ile ilk ses ve müzik iletimi yapılmıştır.

Elektromanyetik dalgalar ortamda yüzey şekillerinden, binalardan ve diğer nesnelerden yansıyor, saçılıyor ve kırılarak yayılırlar. Yayılımın nihai detayları sinyali engelleyen cisimlerin fiziksel karakteristiğini açıklayan sınır koşullarında Maxwell denklemlerinin çözülmesiyle elde edilebilir. Bu geniş ve kompleks yapıların Radar Geçiş Kesiti (RCS)

hesaplamasını gerektirir. Hesaplamaların zor olup çoğu zaman elde edilmesi zor parametreleri gerektirmesinden dolayı Maxwell denklemlerini yeniden düzenlemek yerine sinyalleri tanımlamak amacıyla yaklaşıklık hesapları geliştirilmiştir.

En genel yaklaşıklık metotları ışın takip tekniklerini kullanırlar. Bu teknikler elektromanyetik dalga cephelelerini ayrı ayrı paçalardan oluşuyor gibi düşünerek dalgaların yayılımına yaklaşım yaparlar. Bu model dalga cephesinin yansıma ve kırınım etkilerini kapsar fakat daha kompleks olan saçılma fenomeninin etkilerini göz ardı eder. En basit ışın takip sistemi iki-ışın modelidir. Bu model alıcı ve verici arasında bir direkt bir yol ve bir yansıma yolunun bulunduğu durumu doğru olarak açıklar. Yansıyan dalga tipik olarak zeminden yansıyarak ilerleyen bir yol izler. Bu model otoyol, kırsal alan ve su yüzeyi gibi ortamlar için iyi bir yaklaşıklık modelidir. İleri deki bölümlerde daha karmaşık ve daha fazla yansıma, saçılma ve kırınım içeren modellere de değinilecektir.

Birçok yayılma ortamı ışın takip modelleriyle doğru olarak yansıtılamazlar. Bu gibi durumlarda deneysel ölçümlere dayanan analitik modeller oldukça yaygın olarak geliştirilmiştir. Sinyalin yolu üzerindeki binalar veya diğer nesneler gibi engellerden kaynaklanan zayıflama tipik olarak istatistiksel yolla karakterize edilir. İstatistiksel modeller ayrıca çok sayıda çok-yollu iletim bileşenlerinin olduğu durumlarda yapıcı ve yıkıcı girişimi (interferansı) tanımlamak içinde kullanılır. Bu modeller çevrenin düzgün geometrili ve düzgün dağılımlı dielektrik özelliklere sahip olması durumunda daha kesin sonuçlar verir. Kapalı ortamlar açık alanlardan daha az düzenli karakteristiğe sahiptirler. Çünkü kapalı ortamların özellikleri fabrika, ofis ya da metal makinelerin bulunduğu mağaza vs. olmasına göre büyük değişimler gösterir. Bu tip çevrelerde bilgisayar destekli modelleme sistemleriyle sinyal yayılma karakteristikleri tahmin edilir.

3.2 İletim ve Alım Sinyal Modelleri

İnceleyeceğimiz modeller genel olarak UHF ve SHF bantlarına ait sırasıyla 0.3-3 GHz ve 3-30 GHz frekanslarındaki sinyallere göre geliştirilmiştir. Bu aralıktaki frekanslar yayılım karakteristikleri ve gerekli anten boyutu açısından kablosuz sistem uygulamalarına uygundur. İletim mesafesi dünyanın yuvarlaklığından etkilenmeyecek kadar kısa olduğu varsayılarak hesaplamalara katılır. Tüm iletilen ve alınan işaretler reeldir. Çünkü modülatörler reel (kompleks bileşenler içermeyen) sinüzoidler üreten osilatörler kullanarak üretilmektedirler. Komünikasyon kanalları tasarlanırken kompleks frekans cevapları analitik basitlik için kullanılır, aslında kanal yalnızca iletilen sinyalin her bir frekansında bir genlik ve faz değişikliği getirir böylece alınan sinyal de reeldir. Reel olarak modüle de-modüle edilen

sinyaller genellikle analizi basitleştirmek için kullanılan kompleks sinyallerin reel kısımlarıdır.

İletilen sinyali şu şekilde modelleyebiliriz.

$$\begin{aligned}
 s(t) &= \Re \left\{ u(t) e^{j 2 \pi f_c t} \right\} \\
 &= \Re \{u(t)\} \cos(2 \pi f_c t) - \Im \{u(t)\} \sin(2 \pi f_c t) \\
 &= x(t) \cos(2 \pi f_c t) - y(t) \sin(2 \pi f_c t)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Faz terimi $x(t) = \Re\{u(t)\}$ ile birlikte $u(t) = x(t) + jy(t)$ kompleks temel-bant sinyalıdır. Karesel terim ise $y(t) = \Im\{u(t)\}$ olur. Bant genişliği B_u ve güç P_u ile gösterilir. $u(t)$, $s(t)$ 'nin kompleks zarfı veya “ $s(t)$ ”nin kompleks alçak geçiren eşit sinyali olarak adlandırılır çünkü $u(t)$ 'nin büyüklüğü $s(t)$ 'nin büyüklüğü ve $u(t)$ 'nin fazı $s(t)$ 'nin fazı olması sebebiyle $u(t)$ yi $s(t)$ 'nin kompleks zarfı olarak tanımlayabiliriz. Bu faz bir taşıyıcı faz dengesini de içerir. Bu $B \ll f_c$ bant genişliğine sahip standart bant-geçiren sinyalin standart ifadesidir. İletilen sinyaldeki güç $P_t = P_u/2$ dir.

Alınan sinyalde benzer bir şekle sahiptir.

$$r(t) = \Re \left\{ v(t) e^{j 2 \pi f_c t} \right\} \tag{3.2}$$

Kompleks temel bant sinyali $v(t)$, $s(t)$ 'nin yayıldığı kanala bağlıdır. Özellikle eğer $s(t)$ zamanla değişmeyen bir kanalda yayılırsa $v(t) = u(t) * c(t)$ ye eşittir. $c(t)$ alçak geçiren kanal darbe cevabıdır. Alınan sinyal şeklinde bir Doppler kayması içerebilir. θ alınan sinyalin hareketin yönüne göre olan geliş açısı, v alıcının vericiye göre hızı, $\lambda = c/f_c$ sinyal dalga boyudur ($c = 3 \times 10^8$ m/sn). Doppler kaymasıyla ilgili olan geometri “Şekil 3.2” de gösterilmiştir. Doppler kayması vericinin veya alıcının Δt kısa zaman aralığında $\Delta d = v \Delta t \cos \theta$ eşit olan değişiklikten dolayı yayılan sinyalin gitmesi gereken mesafeden kaynaklanır. Yol uzunluğundan kaynaklanan faz değişikliği $\Delta \phi = 2 \pi v \Delta t \cos \theta / \lambda$ olur. Doppler frekansı sinyalin frekansı ve faz arasındaki bağlantıdan kaynaklanır.

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = v \cos \theta / \lambda \tag{3.3}$$

Eğer alıcı vericiye doğru ilerliyorsa, örneğin $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ ise Doppler kayması pozitifdir aksi halde ise negatiftir. Bu bölümdeki serbest uzay ve ışın takip modellerinde Doppler etkisi göz ardı edilecektir çünkü tipik 75km/saat civarındaki araç hızları ve 1 GHz civarındaki frekanslar için bu etki 100 Hz civarındadır. (Goldsmith, 2005)

P_t gücündeki $s(t)$ sinyalinin verilen kanalda gönderildiği ve alınan sinyalinde P_r gücündeki $r(t)$ 'ye denk olduğu kabul edilirse. P_r gölgeleme etkisinden dolayı kaynaklanan rasgele değişikliklerin ortalamasıdır. Kanalin lineer yol kaybını gönderilen ve alınan sinyalin oranı olarak tanımlanır.

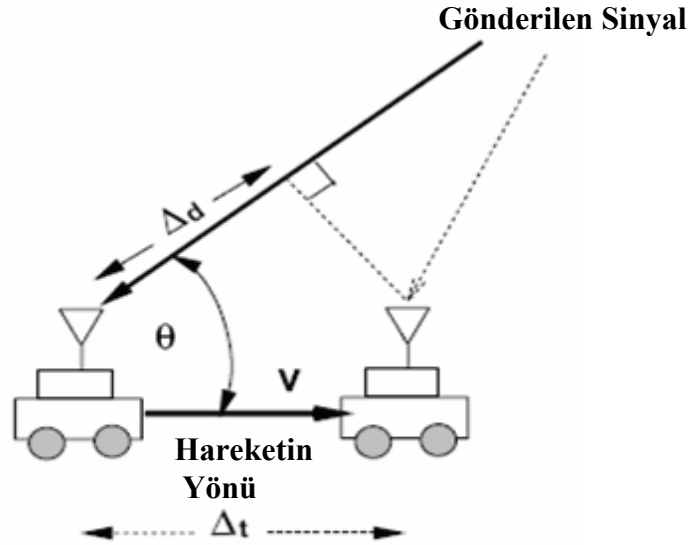
$$P_L = \frac{P_t}{P_r} \quad (3.4)$$

Kanalin yol kaybı, lineer yol kaybının dB değeri veya gönderilen ve alınan sinyal arasındaki dB oranı olarak tanımlanır.

$$P_L dB = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} dB \quad (3.5)$$

Genelde dB yol kaybı negatif değildir. Çünkü kanal aktif elemanlar içermeyeceğinden sinyal sadece zayıflar. dB yol kazancı yol kaybının negatifi olarak tanımlanır.

$P_G = -P_L dB = -10 \log_{10} P_t/P_r dB$ Gölgelemeyle birlikte alınan güç yol kaybının etkilerini ve rastlantısal ekleri içerir bunun sebebi “Şekil 3.7” de belirtilen engelleyici cisimlerdir.



Şekil 3.2 Doppler kayması.

3.3 Serbest Uzak Yol Kaybı

Vericiden d uzaklığında bulunan bir alıcıya sinyal gönderilir ve verici ve alıcı arasında hiçbir engel olmadığı varsayılırsa sinyal ikisi arasında düz bir çizgi üzerinde ilerler. Bu tip yayılma modeliyle ilişkilendirilen kanala görüş içi (LOS) kanal adı verilir ve bu kanaldaki alınan sinyale LOS sinyal veya LOS ışın denir. Serbest uzak yol kaybı kompleks ölçüm faktörü içermektedir.

$$r(t) = \Re \left\{ \frac{\lambda \sqrt{G_l} e^{-j2\pi d / \lambda}}{4\pi d} u(t) e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (3.6)$$

$\sqrt{G_l}$, görüş içi verici ve alıcı antenin radyasyon paternlerinin çarpımıdır. Faz kayması “ $e^{-j2\pi d / \lambda}$ ” dalgaının ilerlediği d mesafesinden kaynaklanır.

S_t sinyali ile birlikte yayılan güç P_t olur. Böylece alınan gücün yayılan güce oranı şu şekilde verilir:

$$\frac{P_r}{P_t} = \left[\frac{\sqrt{G_l} \lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.7)$$

Böylece alınan sinyal gücü mesafenin karesine ters orantılı olarak azalır. Sonraki bölümde diğer sinyal yayılma modellerine göre inceleyeceğimiz alınan sinyal gücü mesafeye göre daha hızlı olarak düşmektedir. Alınan sinyal gücü ayrıca sinyal dalga boyunun karesine orantılıdır. Böylece taşıyıcı frekansı yükselirken alınan güç düşer. Sinyal dalga boyunu alınan güce bağımlılığı alıcı antenin efektif alanından kaynaklanır (Parson, 1992). Fakat yönlü antenler dizayn edilerek alınan güç frekansın artan fonksiyonu olabilmektedir (Poon, 2003). Alınan güç dBm olarak şu şekilde açıklanabilir.

$$P_r \text{ dBm} = P_t \text{ dBm} + 10 \log_{10}(G_l) + 20 \log_{10}(\lambda) - 20 \log_{10}(4\pi) - 20 \log_{10}(d) \quad (3.8)$$

Serbest uzay yol kaybı serbest uzay modelinin yol kaybı olarak tanımlanır.

$$P_L \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = -10 \log_{10} \frac{G_l \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3.9)$$

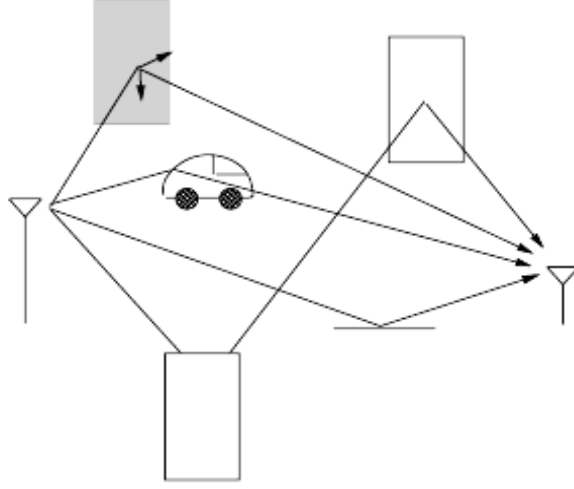
Serbest uzay yol kazancı şu şekilde ifade edilir:

$$P_G = -P_L = 10 \log_{10} \frac{G_l \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3.10)$$

3.4 Işın Takibi

Bir şehir merkezinde veya bina içinde sabit bir kaynaktan yayılan bir radyo sinyali yansıma, kırılma ve saçılmaya sebep olan “Şekil 3.3” te gösterildiği gibi birçok engelle karşılaşır. Sinyalin bu durumda ortaya çıkan yansımış, kırılmış ve saçılmış haline çok-yollu sinyal bileşenleri denir ve alıcıda sinyalin görüş içi yoluna göre gücünde zayıflamaya, gecikmeye, faz veya frekansta kaymaya sebep olabilirler. Çok-yollu sinyal ve gönderilen sinyal alıcıda

toplanır ve bu da çoğunlukla ilk gönderilen sinyale göre bozulmalar yaratır. Işın takibinde sonlu sayıda, yeri ve dielektrik özellikleri bilinen yansıtıcıların olduğu varsayılır.



Şekil 3.3 Yansıyan, kırılan ve saçılan dalga bileşenleri.

Çok-yollu yayılımın detayları Maxwell eşitliklerinin uygun sınır koşullarında çözülmesiyle bulunabilir. Fakat karmaşık hesaplamalar sebebiyle genel bir modelleme yöntemi olarak pratik olmaz. Işın takibi tekniklerinde elektromanyetik dalgaların yayılımlarında dalga cephelerini tek bir parçacık olarak ele alma yaklaşımı kullanılır. Böylece dalga cephelerinin yansıma, kırılma ve saçılma etkileri Maxwell in daha karmaşık olan dalga denklemleri yerine basit geometrik eşitliklerle ele alınır. Işın takibinde, alıcının en yakın saçılmaya sebep olan cisimden birçok dalga boyu uzakta olması durumunda ve cismin boyutlarının dalga boyuna göre büyük ve yeterince düz olduğu durumda hata en küçüktür. Işın takip metodu ile deneysel verilerin karşılaştırılması ile alınan sinyal gücü kırsal alanlarda, şehir içi caddeler boyunca alıcı ve vericinin yere yakın olduğu durumlarda ve kapalı ortamlarda uygun saçılma katsayılarıyla doğru şekilde modellenebilir(Goldsmith,2005). Gecikme açıklığı gibi çok-yollu yayılımda alınan gücün yanındaki yayılma etkileri ışın takip teknikleri ile elde edilemeyebilir.(Li,2000)

Eğer verici, alıcı ve yansıtıcıların hepsi hareketsizse görüş içi yol üzerinde alınan sinyale göre çok-yollu alınan sinyallerin etkileri ve gecikme sabittir. Fakat kaynak ve alıcı hareket ediyorsa çok-yollu yayılımın karakteristiği zamanla değişir. Bu değişimler yansıtıcıların sayısı, yeri ve karakteristikleri zaman boyunca biliniyorsa deterministiktir. Yoksa istatistiksel modeller kullanılmalıdır. Benzer olarak eğer yansıtıcıların sayısı fazla, yüzeyleri de düz değilse alınan sinyali karakterize etmek için istatistiksel modeller kullanılmalıdır. Işın takibini ve

istatistiksel sönümlleme modellerini birleştiren karma modeller de ileriye sürülmüştür(Domazetovic,2002),(Tarng,2003).

En genel ışın takip modeli zayıflatılmış, kırılmış ve saçılmış çok yollu yayılım bileşenlerini içerir. Bu model verici ve alıcıyı çevreleyen cisimlerin geometrik ve dielektrik özelliklerini kullanır.

Sıradaki bölümlerde birçok ışın takip modellerine basitten karmaşığa doğru değinilecektir. Başlangıç olarak zeminden yansıyan ve direkt olarak alıcıya ulaşan iki ışının girişime uğramasıyla sinyal değişikliklerini hesap eden basit iki-ışın modelini inceleyeceğiz. Bu model sinyalin yayılımını şehirler-arası yollar, otoyol gibi izole ve az yansıtıcının olduğu durumlarda tanımlarlar. Karakteristik olarak kapalı ortamlar için iyi bir model değildir. İlerde değineceğimiz on-ışın yansıma modeliyle birlikte sinyalin düz bir cadde veya koridorda değişimlerini inceleyebiliriz. Son olarak ta herhangi bir iletim ortamı için genel bir model anlatılacaktır. İki ışın modelinde sadece anten yüksekliğine ihtiyaç duyuluyorken on-ışın modelinde anten yüksekliğini yanı sıra cadde veya koridor genişliğine de gereksinim duyulur. Genel modelde bunların yanı sıra geometri ve yansıma, saçılma ve kırınımına sebep olan cisimlerin dielektrik özellikleri de gerektirmektedir.

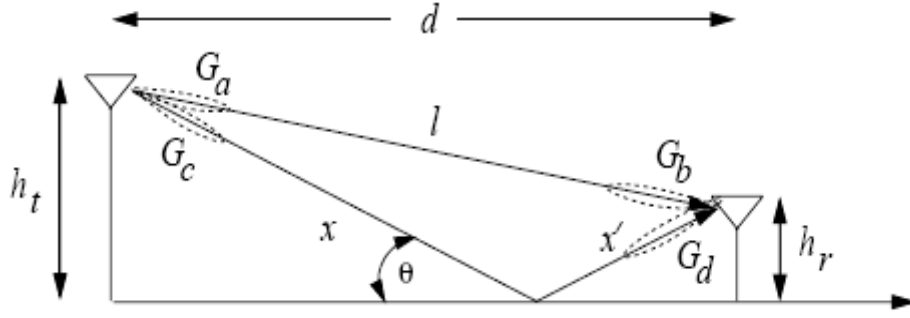
3.4.1 İki-Işın Modeli

İki-ışın modeli “Şekil 3.4”te gösterildiği gibi zeminden yansıyan tek bir sinyal çok-yollu yayılımda baskın rol oynuyorsa kullanılır. Alınan sinyal iki parçadan oluşur: Direkt olarak alıcıya ulaşan (LOS) ışın ve yansıyan ışın. Alınan LOS ışınını serbest uzay formülüyle (3.6) bulunabilir. Yansıyan ışın “Şekil 3.4” de x ve x’ den oluşan parçaların birleşimi olarak gösterilmiştir. Eğer yansımadan dolayı sinyal zayıflamasını göz ardı edersek bu model de alınan sinyal şu şekilde verilebilir.

$$r_{2ışın}(t) = \Re \left\{ \frac{\lambda}{4\pi} \left[\frac{\sqrt{G_l} u(t) e^{-j2\pi l / \lambda}}{l} + \frac{R \sqrt{G_r} u(t - \tau) e^{-j2\pi(x+x') / \lambda}}{x + x'} \right] e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (3.11)$$

$\tau = (x + x' - 1) / c$ yerden yansıyan ışının direkt gelen ışına göre olan gecikmesidir.

$\sqrt{G_l} = \sqrt{G_a G_b}$ verici ve alıcı antenlerin görüş içi mesafede radyasyon paternlerinin çarpımıdır.



Şekil 3.4 İki-ışın modeli.

R yerin yansıma katsayısı ve $\sqrt{G_r} = \sqrt{G_c G_d}$ verici ve alıcı anten alanlarının x ve x' için radyasyon paternlerinin çarpımıdır. İki-ışın modelinin **gecikme açıklığı** direkt olarak ulaşan ışın ve yansıyan ışın arasındaki gecikmeye eşittir. Eğer yayılan sinyal gecikme açıklığına göre dar bantlıysa ($\tau \ll B_u^{-1}$) $u(t) = u(t - \tau)$ olur. Bu yaklaşımla dar bantlı yayılım için iki ışın modelinde alınan güç:

$$P_r = P_t \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right]^2 \left| \frac{\sqrt{G_l}}{l} + \frac{R\sqrt{G_r} e^{-j\Delta\phi}}{x + x'} \right|^2 \quad (3.12)$$

İki sinyal arasındaki faz farkı $\Delta\phi = 2\pi(x + x' - 1)/\lambda$ olur. (3.12) deki denklemin deneysel verilerle birlikte son derece uyumlu olduğu gösterilmiştir.

$$x + x' - 1 = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (3.13)$$

“d” nin $h_t + h_r$ ye göre çok büyük olması durumunda yaklaşım yapmak için (3.13) de Taylor serisi kullanabiliriz.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi(x + x' - 1)}{\lambda} \approx \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (3.14)$$

Zeminin yansıma katsayısı (1998, Lee) deki gibi alınmıştır.

$$R = \frac{\sin \theta - Z}{\sin \theta + Z} \quad (3.15)$$

$$Z = \begin{cases} \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta} / \varepsilon_r & \text{Dikey polarizasyon için} \\ \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta} & \text{Yatay polarizasyon için} \end{cases} \quad (3.16)$$

ϵ_r yerin dielektrik sabitidir. Dünya veya yol yüzeyleri için sabit ve saf dielektrik sabitine yakındır. (ϵ_r reeldir ve değeri 15'e yakındır.)

“Şekil 3.4” ve (3.15) ‘ten göreceğimiz gibi d asimtotik geniş, $x + x' \approx 1 \approx d, \theta \approx 0, G_l \approx G_r$ ve $R \approx -1$ dir.

Bu yaklaşıklıkları (3.12)’de yerine koyarsak asimtotik limit içinde alınan sinyal gücü yaklaşık olarak:

$$P_r \approx \left[\frac{\lambda \sqrt{G_l}}{4\pi d} \right]^2 \left[\frac{4\pi h_l h_r}{\lambda d} \right]^2 P_t = \left[\frac{\sqrt{G_l} h_l h_r}{d^2} \right]^2 P_t \quad (3.17)$$

olarak bulunur.

dB olarak ta şu şekilde ifade edilir:

$$P_r \text{ dBm} = P_t \text{ dBm} + 10 \log_{10}(G_l) + 20 \log_{10}(h_l h_r) - 40 \log_{10}(d) \quad (3.18)$$

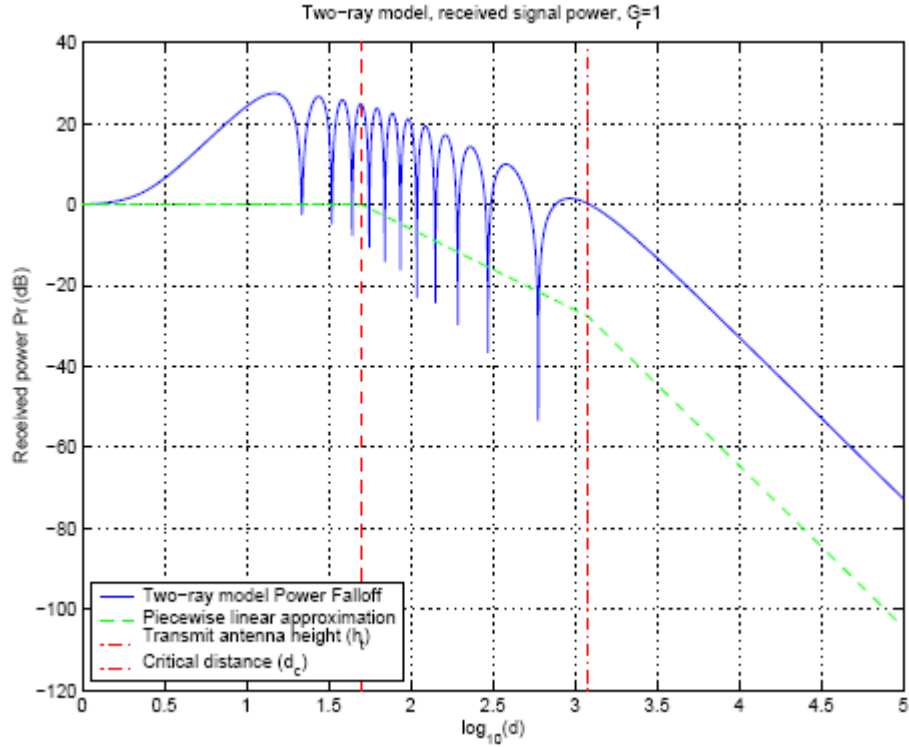
ifade edilir. Böylece asimtotik geniş “d” nin limitinde alınan güç “d” nin 4’ncü kuvvetiyle ters orantılı olarak azalır ve dalga boyundan bağımsızdır. Alınan sinyal λ ’ dan bağımsız olmasının sebebi: direkt gelen ve yansıyan sinyalin birleşimi bir anten dizisinin etkilerine benzerdir ve doğrusal antenler ,her zaman frekansla azalmayan bir alınan güce sahiptir. Mesafenin fonksiyonu olarak (3.12)’nin grafiksel gösterimi “Şekil 3.5” te gösterilmiştir. f=900 MHz, R=-1, $h_t=50\text{m}$, $h_r=2\text{m}$, $G_l=1$, $G_r=1$ alınmış ve yayılan güç normalize edilmiştir. Böylece grafik 0 dB den başlar. Bu çizim 3 parçaya ayrılabilir. İki ışın kısa mesafeler için ($d < h_t$) yapıcı olarak toplanır, yol kaybı kabaca düzdür. Daha kesin olarak $1/(d^2 + h_t^2)$ ile orantılıdır.

Çünkü kısa mesafelerde alıcı ve verici arası mesafe $l = \left(\sqrt{d^2 + (h_t - h_r)^2} \right)$ ’dir. Genelde

$h_t \gg h_r$ için $1/l^2 \approx 1/(d^2 + h_t^2)$ olarak hesaplanır. “ht” den daha büyük uzunluklar için ve d_c kritik mesafesine kadar dalga iki ışının yapıcı ve yıkıcı girişimiyle karşılaşır ve maksimum ve minimumlar dizisiyle bir dalga paterni içinde sonlanır. Bu maksimum ve minimumlara küçük ölçek ya da çok yollu zayıflamalar denir. Dalga kritik mesafe d_c ‘de son maksimuma ulaşır. Bu mesafeden sonra sinyal mesafeyle d^4 oranıyla düşmeye başlar. Bu hızlı düşüşün sebebi $d > d_c$ mesafesinden sonra sinyal bileşenlerinin sadece yıkıcı olarak eklenmesidir. Birbirleri arasında en azından π kadar faz farkı bulunur.” d_c “ için yaklaşıklık (3.14) de $\Delta\phi = \pi$ yapılarak elde edilebilir. $d_c = 4h_t h_r / \lambda$ ’nın elde edilişi şekilde belirtilmiştir. İki ışın modelinde mesafeyle gücün azalışı yerel maksimum ve minimumların ortalaması alınarak

yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu sonuçlar “Şekil 3.5” de parçalı lineer (piecewise) modelinde üç parça ile verilmiştir ve gerçek güç düşüşünü göstermek için dengelenmiştir. Güç düşüşündeki ilk bölüm sabit ve $1/d^2 + h_t^2$ ile orantılıdır. h_t ve d_c arasındaki mesafe için güç düşüşü -20 dB/decade olurken d_c ’den büyük mesafelerde güç düşüşü -40 dB/decade olur.

Bu kritik mesafe d_c sistem dizaynında kullanılabilir. Örnek olarak eğer hücresel sistemde iki ışın modeline uygun hale getirilirse hücrenin doğal boyutu kritik mesafeye denk gelir. Çünkü girişimle birleşen yol kaybı hücrenin içindeki kabul edilebilir yol kaybından çok daha fazladır. Fakat kritik mesafe uzaklığındaki hücre sınırları daha büyük hücreler içindir ve “Şekil 3.5 “ de gösterilmiştir. Mikro hücrelerde ise kapasitenin artırılması ve yayılan gücün azaltılması için hücre sınırı d_c kritik mesafesinden daha küçük tutulur. Bu nedenle iki-ışın yayılma modeli ile küçük hücrelerdeki güç düşüşü mesafenin karesiyle orantılıdır. Fakat hücresel sistemlerdeki yayılma nadir olarak iki-ışın modelini takip ederler çünkü yansıyan ışınlarla sinyallerin birbirlerini sönmlemesi tüm yönler için çok nadir olur.

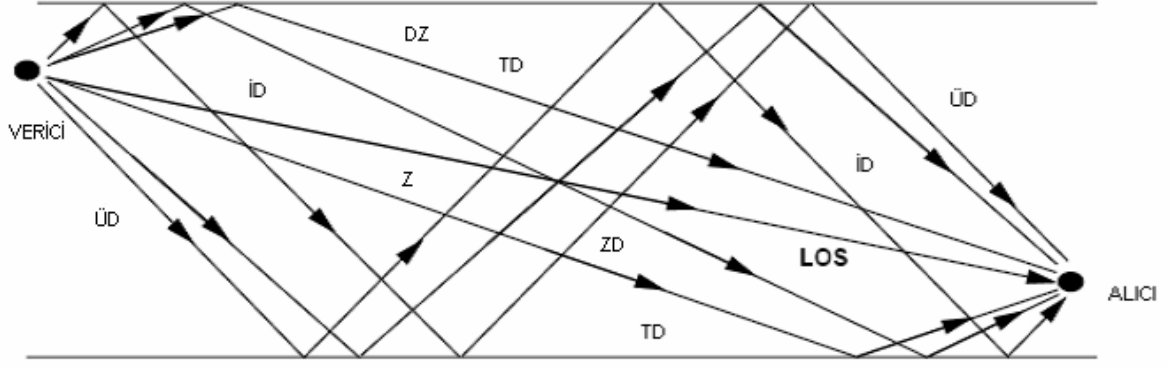


Şekil 3.5 İki ışın modeli için alınan gücün mesafeyle değişimi(Godsmith,2005).

3.4.2 On-Işın Modeli (Dielektrik Kanyon)

Amitay tarafından geliştirilen şehir içi mikro hücre modelini incelersek (Amitay,1992) model caddenin her iki tarafı boyunca düzgün sırada devam eden caddeler binalar ve cadde seviyesine yakın verici ve alıcı anten yükseklikleri olduğunu varsayar. Binalarca çevrelenen

caddeler yayılan sinyal için bir dielektrik kanyon gibi davranır. Teorik olarak binaların yüzünden sonsuz sayıda ışın yansır ve alıcıya ulaşır. Buna ek olarak alıcı ve vericinin arkasından da sinyaller geri yansır. Fakat sinyalin bir kısım enerjisinin her yansımada yok olmasından dolayı üçten fazla yansıma yapan sinyaller genellikle göz ardı edilirler. Caddenin düzeni oldukça düz ise geri yansımalar yok sayılabilir. Deneysel veriler on-ışın modelinin dielektrik kanyon içinde ilerleyen sinyali büyük yaklaşıklıkla modelleyebildiğini gösterir. On ışın modelindeki dalgaların izlediği yollar bir,iki veya üç yansıma içerir: Direkt gelen ışın (LOS), zeminden yansıyan (Y), tek duvardan yansıyan (TD),iki duvardan yansıyan (İD),üç duvardan yansıyan (ÜD) ,önce duvar sonra zeminden yansıyan (DZ) ve zeminden ve duvardan yansıyan (ZD) ışınlar. Her çeşit duvardan yansıyan yolun ikisi ve caddenin ve her yanı için bir yol modelde mevcuttur. On-ışın modelinin üstten görünüşü “Şekil 3.6 “da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 On-ışın modelinin üstten görünüşü.

On-ışın modelin için alıcıya ulaşan sinyalin denklemi şu şekildedir.

$$r_{10ışın}(t) = \Re \left\{ \frac{\lambda}{4\pi} \left[\frac{\sqrt{G_l} u(t) e^{-j2\pi l / \lambda}}{l} + \sum_{i=1}^9 \frac{R \sqrt{G_{x_i}} u(t - \tau_i) e^{-j2\pi x_i / \lambda}}{x_i} \right] e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (3.19)$$

x_i , i. yansıyan ışının yol uzunluğunu gösterir. $\tau_i = -(x_i - l)/c$ ve $\sqrt{G_{x_i}}$ i'nci ışın için verici ve alıcı anten kazançlarının çarpımına eşittir. Her yansıma yolu için R_i katsayısı (3.15) ile verilen tek bir yansıma katsayısına ya da birden çok yansıma varsa yansıma katsayılarının çarpımına eşittir. (3.15) 'te kullanılan dielektrik sabiti yerin dielektrik sabitine yakındır böylece R_i 'nin hesaplanmasında $\epsilon_r = 15$ olarak alınır. Eğer bütün i'ler için $u(t) \approx u(t - \tau_i)$ olduğu dar bant modelini varsayarsak (3.19) verilen denklem için alınan güç :

$$P_r = P_t \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right]^2 \left| \frac{\sqrt{G_l}}{l} + \sum_{i=1}^9 \frac{R_i \sqrt{G_{x_i}} e^{-j\Delta\phi_i}}{x_i} \right|^2 \quad (3.20)$$

$$\Delta\phi = 2\pi(x_i - 1)\lambda \text{ olur..}$$

On-ışın modeli (3.20) ve şehir içi deneysel verilerin her ikisinde de binalardan yüksek veya alçak seviyedeki verici ve alıcı antenler için gücün azalışı geniş mesafelerde bile tipik olarak d^{-2} ile orantılıdır(Berg,1992)(Wagen,1991)(Bultitude,1989). Ayrıca güç azalışı nispeten verici yüksekliğinden etkilenmez. Bu karesel güç düşüşü , d^{-2} ile azalan çok yollu ışınların direkt olarak gelen (LOS) ve yerden yansıyarak gelen (iki-ışın modeli) d^{-4} ile azalan ışınlarla baskınlığı sebebinden kaynaklanır. Diğer deneysel çalışmalarda güç azalışlarının $d^{-\gamma}$ ile orantısal şekilde azaldığı sonucuna varılmıştır(Berg,1992)(Börjeson,1992)(Whitaker,1988). γ 2 ile 6 arasında değişmektedir.

3.4.3 Genel Işın Takibi

Genel Işın Takibi (GIT) herhangi bir bina konfigürasyonu ve anten yerleşimi için alan şiddetini ve gecikme açıklığını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu model için bina veritabanı (yükseklik, yer ve dielektrik özellikleri) ve binalara göre alıcı ve verici yerleşimleri açıklıkla belirtilmelidir. Çünkü bu bilgiler bulunulan yere göre değiştiğinden GIT modeli sistem performansı ve yapısı hakkında genel teoriler üretmek için kullanılamaz, şehir içi yayılmanın basit mekanizmasını açıklar ve verilen çevrede belirli verici ve alıcı konfigürasyonu için gecikmeyi ve sinyal gücü değerlerini elde etmek için kullanılabilir.

GIT metodu LOS ve yansıyan sinyal bileşenlerini takip etmek için geometriksel optik kanunlarını kullanır. Belirtilen alıcı noktalarında çok-yollu yayılımın bileşenlerinin sayısı için bir sınır yoktur. Her bileşenin gücü bina yerleşimlerine ve dielektrik özelliklerine göre açıkça bulunur. Genelde LOS ve yansıyan yollar en baskın bileşenleri oluşturur. Çünkü kırınım ve saçılma kayıpları yüksektir. Fakat saçılma ve kırınımına sebep olan yüzeylere yakın bölgelerde LOS ve yansıyan ışınların etkileri görülmeyebilir. Diğer çok-yollu yayılımın bileşenleri baskın olabilir.

Kırınım gönderilen sinyalin “Şekil 3.7” de gösterildiği gibi alıcıya gittiği yol üzerindeki bir engelin etrafından eğilerek geçmesidir. Kırınım bir çok fenomenin sonucudur: dünya yüzeyinin eğriliği, tepelik ve düzensiz yeryüzü şekilleri, binaların köşeleri, verici ve alıcı arasındaki engeller sebeplerden bazılarıdır (Lee,1998),(Rappaport,2001),(Parson,1992).Geometriksel kırınım teorisi kullanılarak doğru bir şekilde kırınımı tanımlamak mümkündür. Fakat bu

yaklaşımın karmaşıklığı onun kablosuz kanal modellemesinde kullanılmasının önüne geçer. V (wedge) kırınım, geometriksel kırınım teorisini kırınımına sebep olan cismin şeklinin daha genel bir olması yerine V şeklinde varsayarak kolaylaştırır. Bu model bazı geliş açılarıyla 100dB ‘i geçen kayıplarla sonuçlanan cadde köşelerindeki kırınımı karakterize etmek için kullanılmıştır. V kırınımı geometriksel kırınım teorisini her ne kadar basitleştirse de yol kaybı için rakamsal çözüm gerektirmektedir (Goldsmith,2005). Bu yüzden çok sık kullanılmaz. Kırınım genelde basitliği sebebiyle en çok Fresnel bıçak sırtı kırınım modeliyle tanımlanır. Bu geometri “Şekil 3.7” de görülmektedir. Kırınımına sebep olan cisim asimtotik olarak ince kabul edilmiştir. Bu tepeler, engebeli arazi ve V şeklindeki cisimlere uygun bir genelleme olamaz. Özellikle bu model polarizasyon, iletkenlik, yüzey pürüzlülüğü gibi sapmalara sebep olacak kırınım parametrelerini kapsamaz. “Şekil 3.7” de kırınan işaretin $d+d'$ mesafesi kadar yol aldığını ve bunun sonucunda $\phi = 2\pi(d + d')/\lambda$ bir faz gecikmesiyle karşılaştığını görülür. “Şekil 3.7” de direkt gelen (LOS) sinyale göre sinyalin alması gereken yaklaşık yol:

$$\Delta d = \frac{h^2}{2} \frac{d + d'}{dd'} \text{ ve buna denk düşen faz kayması yaklaşık olarak}$$

$$\Delta \phi = \frac{2\pi \Delta d}{\lambda} \quad (3.21)$$

olur ve v Frensel-Kirchoff kırınım parametresidir.

$$v = h \sqrt{\frac{2(d + d')}{\lambda dd'}} \quad (3.22)$$

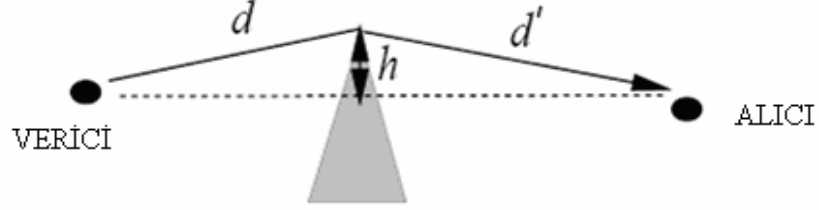
Bıçak sırtı kırınım ile ilişkili yol kaybı genellikle v ‘nin fonksiyonudur. Fakat kırınım yol kaybını hesaplamak oldukça karmaşıktır. Huygens prensiplerini, Fresnel bölgelerini, karmaşık Fresnel bölgelerini ve karmaşık Frensel integralini kullanmayı gerektirir (Parson,1992). Bundan farklı olarak sonuçta ortaya çıkan kırınım kaybı genelde kapalı şekilde olmayabilir. Bıçak-sırtı kırınım için yol kaybı yaklaşık hesapları LOS yol kaybı ile ilgilidir.

$$L(v)dB = \begin{cases} 20 \log_{10} [0.5 - 0.62v] & -0.8 \leq v < 0 \\ 20 \log_{10} [0.5e^{-0.95v}] & 0 \leq v < 1 \\ 20 \log_{10} [0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.38 - 0.1v)^2}] & 1 \leq v < 2.4 \\ 20 \log_{10} [0.225/v] & v > 2.4 \end{cases} \quad (3.23)$$

Benzer bir yaklaşım da (Chan,1991)’de bulunabilir. Bıçak-sırtı kırınım modeli alınan sinyal için şu eşitliği sağlar:

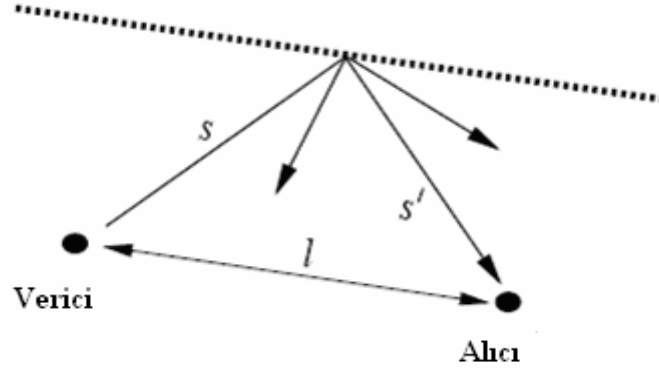
$$r(t) = \Re \left\{ L(u) \sqrt{G_d} u(t - \tau) e^{-j 2 \pi (d + d') / \lambda} e^{j 2 \pi f_c t} \right\} \quad (3.24)$$

$\sqrt{G_d}$ anten kazancıdır ve $\tau = \Delta d / c$ LOS 'a göre gecikmedir.



Şekil 3.7 Bıçak-sırtı kırınım.

Buna ek olarak birçok defa kırılan veya hem yansıyan hem de kırılan ışınlar olabilir. Yansıma ve kırınımın olası bütün permütasyonlarını içeren modeller mevcuttur. Bu şekildeki sinyal bileşenlerinin zayıflamaları fazla olmasına rağmen gürültüye göre oranla ihmal edilebilirler. Kırınım modelleri belirli çevreye göre uyarlanabilir. Örneğin hücresel sistem için çatı tepelerinden ve binalardan oluşan kırınım modeli Walfisch ve Bertoni tarafından gerçekleştirilmiştir. (Walfisch, Bertoni, 1988)



Şekil 3.8 Saçılma.

Şekil 3.8 de s ve s' parçalarıyla gösterilen saçılmış ışın ve s ve s' nün çarpımıyla orantılı bir yol kaybına sahiptir. Bu çarpımsal bağımlılık ışının saçılmadan sonra ek yayılma kaybındandır. Saçılan ışın sebebiyle alınan sinyal bistatik radar denklemiyle verilir.

$$r(t) = \Re \left\{ u(t - \tau) \frac{\lambda \sqrt{G_s \sigma} e^{-j 2 \pi (s + s') / \lambda}}{(4 \pi)^{3/2} s s'} e^{j 2 \pi f_c t} \right\} \quad (3.25)$$

$\tau = (s + s' - 1)/c$ saçılmış ışına ait gecikmedir. $\sigma(m^2)$ saçılma sebep olan cismin radar geçiş kesitidir ki bu pürüzlülüğe, boyut ve şekle bağlıdır. $\sqrt{G_s}$ anten kazancını ifade etmektedir. Model, sinyalin saçılma sebep olan cisme kadar serbest uzay yayılımı yaptığını ve cisimden sonra saçıldığı noktada alınan gücün σ katına eşit bir kuvvetle yeniden yayıldığını varsayar. (3.25) den saçılmayla ilişkili yol kaybı hesaplanırsa:

$$P_{\tau} dBm = P_i dBm + 10 \log_{10}(G_s) + 20 \log_{10}(\lambda) + 10 \log(\sigma) - 30 \log(4\pi) - 20 \log_{10} s - 20 \log_{10}(s') \quad (3.26)$$

elde edilir. Farklı şehirlerde farklı birçok bina için $10 \log_{10} \sigma$ 'un deneysel değerleri hesaplanmıştır (Seidel, 1991). Bu hesaplamalara göre sonuçlar $-4,5 \text{ dBm}^2$ den $55,7 \text{ dBm}^2$ arasında değişmektedir.

Çok-yollu gelen ışınların bileşenlerin toplanmasıyla alınan sinyal elde edilir. Böylece eğer LOS, N_y tane yansıyan, N_k tane kırılan ve N_s dağılmayla saçılan ışın varsa toplam alınan sinyal:

$$\begin{aligned} r_{toplamlam}(t) &= \Re \left\{ \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right] \left[\frac{\sqrt{G_l} u(t) e^{j2\pi d / \lambda}}{l} \right] + \sum_{i=1}^{N_y} \frac{R_{x_i} \sqrt{G_{x_i}} u(t - \tau_i) e^{-j2\pi x_i / \lambda}}{x_i} \right. \\ &= + \sum_{j=1}^{N_k} L_j(v) \sqrt{G_{d_j}} u(t - \tau_j) e^{-j2\pi(d_j + d'_j) / \lambda} \\ &= + \left. \sum_{k=1}^{N_s} \frac{\sqrt{G_{s_k} \sigma_k} u(t - \tau_k) e^{-j2\pi(s_k + s'_k) / \lambda}}{s_k s'_k} \right] e^{j2\pi f_c t} \Bigg\}, \quad (3.27) \end{aligned}$$

ile ifade edilir. τ_i, τ_j, τ_k sırasıyla yansıyan, kırılan ve saçılan ışının LOS gecikmesine göre normalize edilmiş gecikmeleridir. $r_{toplamlam}(t)$ sinyalinin alınan gücü P_r ve buna denk düşen yol kaybı P_r/P_t (3.27) den elde edilir.

Bu çok yollu bileşenlerin bir kısmı yollarına engelleyici bir cisim çıkması durumunda ek bir zayıflamaya maruz kalabilirler. Bu durumda engelleyici cismin zayıflama faktörü (3.27) deki yol kaybı terimleriyle çarpılır. Bu zayıflama kaybı engelin derinliğine ve materyale bağlı olarak çok geniş bir aralıkta değişir. (Rappaport, 2001)(Chia, 1991)

3.4.4 Ortalama Yerel Alınan Güç

Tüm ışın takip modellerinden hesaplanan yol kaybı sabit verici ve alıcı yerleri seçilerek hesaplanmıştır. Buna ek olarak belirli bir alıcının etrafında alınan ışınların tümünün genliklerinin karesi toplanarak ışın takibiyle yerel ortalama alınan güç P_r hesaplanabilir. Böylece alıcı etrafındaki faz değişikliklerinden kaynaklanan değişimlerin ortalaması alınmış olur. Yerel ortalama alınan güç, hattın kalitesinin belirlenmesi için iyi bir göstergedir ve hücresel sistemlerde güç kontrolü ve el değiştirme için sıklıkla kullanılır.

3.5 Deneysel Yol Kaybı Modelleri

Birçok hareketli haberleşme sistemi serbest uzay yol kaybı ve ışın takibi ile kesin olarak modellenemeyen karmaşık yayılma ortamında çalışmaktadır. Yıllar boyunca şehir içi makro ve mikro hücreler ve kapalı ortamlar gibi tipik kablosuz haberleşme ortamlarındaki yol kaybını tahmin etmek için birçok model geliştirilmiştir (Rappaport,2001).Bu modeller belirli mesafe, frekans ve coğrafik alan ve binalardaki deneysel ölçümlere dayandırılır. Fakat bu modelleri sadece deneysel ölçümlerin yapıldığı çevreyle kısıtlamamız gerekir. Bir çok kablosuz sistem performans analizi için bu sistemleri kullanmaktadır. Aşağıda şehir içi makro ve mikro hücreler ve bina içi yayılım için genel modelleri inceleyeceğiz.

Analitik modeller P_r/P_t 'yi mesafenin fonksiyonu olarak karakterize ederler böylece yol kaybı iyi bir şekilde tanımlanır. Buna karşın " P_r/P_t " nin deneysel ölçümleri mesafenin fonksiyonu olarak yol kaybı, gölgeleme ve çok-yollu yayılım etkilerini de kapsar. Çok-yollu yayılım etkilerini kaldırmak için deneysel yol kaybı modelleri alınan gücün ölçümlerinin ve verilen mesafedeki birkaç dalga boyunca oluşan yol kaybının ortalamasını alırlar. Bu " d " mesafesindeki ortalama yol kaybı yerel ortalama zayıflama (LMA) olarak adlandırılır ve serbest uzay zayıflaması ve karşılaştığı engeller sebebiyle mesafeyle azalır. LMA şehir içi gibi belirli bir ortamda verici ve alıcının yerlerine bağlıdır. LMA 'yı daha genel tanımlayabilmek için ölçümler bütün ortam boyunca ve benzer karakteristiğe sahip alanlarda yapılır. Bu nedenle belirli bir yer için(şehir içi, şehir dışı, ofis vb.) d uzaklığında LMA 'nın ortalaması olarak tanımlanır. Alanın tüm ölçümlerinin üzerinden ortalama alınır. Örneğin Newyork 'ta ki ölçümlerde deneysel yol kaybı için şehir merkezi LMA ortalamasını elde etmek için dikdörtgenlere bölünmüştür.

3.5.1 Okumura Modeli

Geniş şehir içi makro hücrelerde sinyalin tahmini hesabı için en çok kullanılan model Okumura modelidir (1968,Okumura).Bu model 1-100 Km üstündeki mesafelere ve 150-1500MHz arası frekanslara uygulanabilir. Okumura tüm Tokyo boyunca baz istasyonundan

hareketli istasyona sinyal zayıflamasının ölçümlerini kullanarak serbest uzaya göre düzensiz yeryüzü şekillerindeki ortalama zayıflamayı veren eğriler topluluğu geliştirmiştir. Ölçümler için kullanılan baz istasyonu yükseklikleri 30-100 m' dir ki üs sınırı yakın olanlar günümüz baz istasyonlarından daha yüksektir. Okumura deneysel yol kaybının formülü d uzaklığında f_c frekansı için şu şekildedir:

$$P_L(d)dB = L(f_c, d) + A_{mu}(f_c, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{ALAN} \quad (3.28)$$

$L(f_c, d)$ d uzaklığındaki f_c taşıyıcı frekansında serbest uzay yol kaybıdır. $A_{mu}(f_c, d)$ serbest uzay yol kaybına ek olarak ortam zayıflamasıdır. $G(h_t)$ baz istasyonu anten yüksekliği kazanç faktörü, $G(h_r)$ hareketli anten yüksekliği kazanç faktörü ve G_{ALAN} yayılım ortamının kazancıdır. $A_{mu}(f_c, d)$ ve G_{ALAN} değerleri Okumura'nın deneysel çizimlerinden elde edilir. Okumura $G(h_t)$ ve $G(h_r)$ için şu deneysel formülleri elde etmiştir:

$$G(h_t) = 20 \log_{10}(h_t / 200), \quad 30m < h_t < 1000m \quad (3.29)$$

$$G(h_r) = \begin{cases} 10 \log_{10}(h_t / 200) & h_r \leq 3m \\ 20 \log_{10}(h_t / 200) & 3m < h_r < 10m \end{cases} \quad (3.30)$$

Modelin doğruluğunu arttıran yüzeye ilgili düzeltme faktörleri (Okumura, 1968)'de geliştirilmiştir. Okumura'nın modeli sonucu hesaplanan değerle, modeli geliştirmek için kullanılan ölçümlerden biri ile arasında 10-14 dB bir deneysel standart sapma bulunur.

3.5.2 Hata Modeli

Hata Modeli (1980, Hata) Okumura tarafından sağlanan grafiksel yol kaybı verisinin deneysel olarak formüle edilmesidir ve kabaca benzer frekanslardadır. (150-1500 MHz) Bu deneysel model yol kaybının hesaplanmasını kolaylaştırır. Çünkü kapalı bir formüldür ve deneysel eğrilere dayanmaz. Hata modelinin şehir içi deneysel yol kaybı için standart formülü:

$$P_{L,urban}(d)dB = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) \quad (3.31)$$

Bu modeldeki parametreler Okumura modeliyle aynıdır. $a(h_r)$ hareketli anten yüksekliği için düzeltme faktörünü belirtir. Küçük ve orta boy büyüklükteki şehirler için bu faktör şu şekilde alınır: $a(h_r) = (1,1 \log_{10}(f_c) - 0,7)h_r - (1,56 \log_{10}(f_c) - 0,8)dB$

daha geniş şehirler ve $f_c > 300$ MHz den büyük frekanslar için $a(h_r) = 3.2(\log_{10}(11.75h_r))^2 - 4,97dB$ olarak alınır.

Şehir içi modele kırsal alanlar ve banliyöler için düzeltmeler yapılmıştır. Sırasıyla modeller şöyledir:

$$P_{L,suburban}(d) = P_{L,urban}(d) - 2[\log_{10}(fc/28)]^2 - 5,4 \quad (\text{Kırsal kesim}) \quad (3.32)$$

Ve

$$P_{L,rural}(d) = P_{L,urban}(d) - 4,78[\log_{10}(fc)]^2 + 18,33 \log_{10}(f_c) - K \quad (\text{Şehir içi}) \quad (3.33)$$

K ,35.94 (şehir sınırı) dan 40,94(çöl)'e kadar değerler almaktadır.Hata modeli Okumura modelindeki gibi özel düzeltme faktörleri içermez.Hata modeli Okumura modeline $d>1$ Km uzaklıklar için çok iyi yaklaşıyor.Yani 1.nesil hücresel sistemler için iyi bir modeldir.Fakat şu anki daha yüksek hücrelere ve daha yüksek frekanslara sahip hücresel sistemler için çok uygun değildir.Kapalı ortamlardaki ölçümler de Hata modeliyle yapılamaz.

3.5.3 COST 231 Hata Modeli Eklentisi

Hata modeline Avrupa bilimsel ve teknik araştırmalar kooperatif (EURO-COST) tarafından 2.6 GHz için eklenti yapılmıştır.

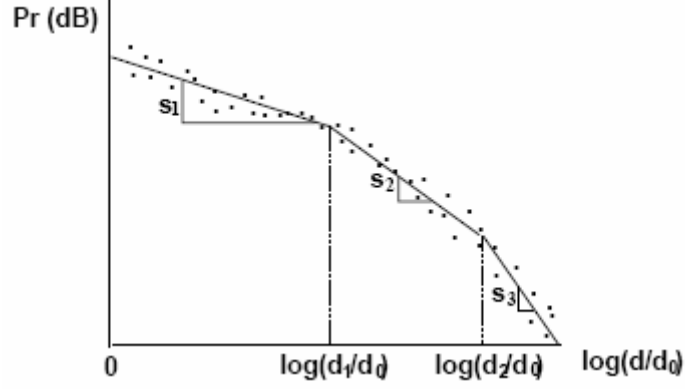
$$P_{L,urban}(d)dB = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) + C_M \quad (3.34)$$

$a(h_r)$ yukarıda daha önce verilenle düzeltme faktörünün aynısıdır. C_M orta büyüklükteki şehirler ve kırsal kesimler için 0 dB olup büyük şehirler için bu değer 3 dB dir. Bu model COST 231 Hata Modeli Eklentisi olarak adlandırılıp şu parametre değerlerinin arasında kullanılması için sınırlandırılmıştır:

$$1,56 \text{ GHz} < f_c < 2 \text{ GHz}, \quad 30\text{m} < h_t < 200\text{m}, \quad 1\text{m} < h_r < 10\text{m}, \quad 1\text{km} < d < 20\text{km}$$

3.5.4 Parçalı Lineer (Çok-Eğimli) Model

Açık alanlardaki mikro hücreler ve kapalı ortamdaki haberleşme kanalının yol kaybını modellemek için genel bir deneysel metot olarak dB cinsinden kaybın logaritmik mesafeyle değişimini gösteren parçalı lineer modeli(PLM) kullanılabilir. Bu yaklaşım “Şekil 3.9”da mesafenin logaritmik ifadesi ile dB cinsinden zayıflamanın değişimi gösterilmektedir. Noktalar farazi deneysel ölçüm verilerini parçalı lineer modeli ise bu ölçümlere yaklaşımı ifade eder. N parçalı bir PLM N-1 tane kırılma noktası ve $d_1, \dots, d_{N-1}$ uzunluklarına karşı düşen $s_1, \dots, s_{N-1}$ eğime sahiptir. Kırılma noktalarının sayısını ve yerini bulmak için değişik metotlar kullanılmaktadır. Noktalar sabitlenerek bunlara karşılık gelen eğimler lineer regresyon yöntemi ile bulunabilir. Parçalı lineer modeli referans (McCune1997) de açık havada ,(1999,Hoppe)’de ise kapalı ortamlarda kullanılmıştır.



Şekil 3.9 Yol kaybı için parçalı lineer modeli.

Bu modelin özel bir hali 2 eğimli olan modeldir. Bu iki eğimli model sabit yol kaybı faktörü K ve d_0 ve d_c (kritik uzaklık) arasında yol kaybı üssü γ_1 ve d_c 'den sonra yol kaybı üssü γ_2 ile karakterize edilir.

$$\text{Pr}(d)\text{dB} = \begin{cases} P_t + K - 10\gamma_1 \log_{10}(d/d_0) & d_0 \leq d \leq d_c \\ P_t + K - 10\gamma_1 \log_{10}(d/d_0) - 10\gamma_2 \log_{10}(d/d_c) & d > d_c \end{cases} \quad (3.35)$$

Yol kaybı üsleri, K ve d_c tipik olarak deneysel verilere regresyon uyumu uygulanarak elde edilir. İki-ışın modeli, $d > h_t$ için iki eğim modeline kritik noktadaki bir kırılma noktası ve zayıflama eğimleri $s_1=20$ dB/decade ve $s_2=40$ dB/decade ile yaklaştırılabilir. Çift eğimli modelde çoklu eşitlikler aşağıdaki iki eğimli yaklaşıklık hesabı ile elde edilebilir (Berg,1992),(Chan,1991)(Erceg,1999).

$$P_r = \frac{P_t K}{L(d)} \quad (3.36)$$

$$L(d) \triangleq \left[\frac{d}{d_0} \right]^{\gamma_1} \sqrt[q]{1 + \left(\frac{d}{d_c} \right)^{(\gamma_1 - \gamma_2)q}} \quad (3.37)$$

Bu eşitlikte q kırılma mesafesi d_c ye yakın geçiş bölgesindeki yol kaybının düzlüğünü belirten parametredir. Bu model iki bölgeden daha fazla bölgeye de genişletilebilir.

3.5.5 Kapalı Alan Zayıflama Faktörleri

Kapalı ortam özellikleri binanın duvar ve zemininde kullanılan malzemeden, odaların zemin döşemelerinden, koridor ve pencerelerden, boşluklardan, engelleyici cisimlerin yerlerinden, odaların boyutlarından ve kat sayısından dolayı çok geniş bir aralıkta değişir. Bütün bu

faktörler kapalı ortamlardaki yol kaybı üzerinde belirgin bir etki oluşturur. Bu sebeple genel bir model oluşturarak belirli kapalı ortamlara uygulayıp deneysel yol kaybını doğru olarak bulmak zordur.

Kapalı ortam yol kaybı modelleri bölmeler arası zayıflama etkilerini katlar arasındaki geçiş etkileri kadar iyi yakalayabilmektedir. Geniş binaların karakteristik ve frekans ölçümlerinde her kat için zayıflamada en çok ilk katta kayıp olur bir sonraki her bir kat geçilirken kat başına düşen kayıp azalır. Özellikle ölçümlerde görülmüştür ki 900 MHz lik frekansta alıcı ve verici arasında 1 kat bulunuyorsa zayıflama 10-20 dB dir. Takip eden üç katın her biri için 6-10 dB dir ve 4.kattan sonra zayıflama daha azalır. Daha yüksek frekanslarda her kat için zayıflama daha çoktur.(Seidel,1992)(Motley ,1988)(Owen,1988)(Toledo,1992)

Zayıflamaya sebep olan katların sayısının artmasıyla kat başına zayıflamanın azalması binanın üs tarafındaki saçılmalara ve yandaki binalardan yansımalara bağlı olduğu düşünülür. Kapalı alanları bölen parçalar ve bunların dielektrik özellikleri geniş bir aralıkta değişir. Bu nedenle kayıplarda geniş bir aralıkta değişir. Bunların bir kısmı 900 MHz ve 1300 MHz için “Çizelge 3.1” de görülebilir. Bu veriler farklı araştırmacıların aynı tip bölme parçaları ve aynı frekansları kullanması sonucu elde edilmiştir. Frekansın geniş bir aralıkta sıkça değişmesi sebebiyle genelleme yapmak zordur (2001,Rappaport)(1994,Poon)(2002,Anderson).

Çizelge 3.1 Tipik bölme kayıpları

Bölme Tipi	Bölme Kaybı (dB)
Kumaş bölme	1.4
Çift katmalı plaster duvar	3.4
Folyo Yalıtım	3.9
Beton Duvar	13
Alüminyum Kaplama	20.4
Tüm Metaller	26

Katlar arası ve bölme parçaları için deneysel veriler analitik veya deneysel yol kaybı modellerine eklenebilir. Bu durumda denklem şu şekli hali alır.

$$P_r \text{ dBm} = P_t \text{ dBm} - P_L (d) - \sum_{i=1}^{N_f} FAF_i - \sum_{i=01}^{N_p} PAF_i \quad (3.38)$$

FAF_i i' nci zemin zayıflama faktörünü temsil eder. PAFi sinyal tarafından geçilen i.bölmeyi temsil etmektedir. Sinyalin geçtiği katların ve bölmelerin sayısı sırasıyla Nf ve Np ile temsil edilir. Vericinin bina dışında olduğu kapalı alanlarda bir diğer önemli faktör içeri işleme kaybıdır. Ölçümler sonucu bina içeri işleme faktörünün frekansa, yüksekliğe ve bina malzemesine bağlı olduğunu görülmüştür. Binanın içeri işleme kaybının zemin katta 900 MHz - 2 GHz aralığı için 8-20 dB arası değişmektedir(Toledo,1998)(Hoppe,1999). Bina içeri işleme kaybı frekans arttıkça azalır ve ayrıca zemin kattan yukarı katlarda kat başına düşen kayıp 1.4 dB azalır. Bu sinyal artışının sebebi yüksek katlardaki azalan parazit ve daha yüksek olasılıktaki direkt görüşten kaynaklanır. Binadaki pencerelerin sayısı da içeri işleme kaybının üzerinden büyük bir etkisi vardır(Walker,1983).Pencere arkasındaki ölçümlerde dış duvarlara göre 6 dB daha az bir kayıp vardır. Bunun yanında düz camın 6 dB lik bir zayıflatması varken kurşun geçirmez (lead-lined) cam 3 ila 30 dB lik zayıflatmaya sahiptir.

3.6 Basitleştirilmiş Yol Kaybı Modeli

Sinyal yayılımının karmaşıklığı sebebiyle yol kaybını farklı ortamlar için doğrulukla tanımlayan bir model bulunması zordur. Gerçekçi yol kaybı modelleri, karmaşık analitik modellerden yada katı sistem özelliklerin sağlandığı veya en iyi baz istasyon yerinin belirlenebildiği durumlarda elde edilebilir. Fakat genel analiz ve değişen sistem analizi için bazen gerçek kanal yaklaşımı sunan karmaşık modeller yerine sinyal yayılımının özünü yakalayan basit bir model kullanmak daha iyidir. Bu nedenle aşağıdaki basitleştirilmiş yol kaybı modeli sistem tasarımında oldukça sık kullanılır.

$$P_r = P_t K \left[\frac{d_0}{d} \right]^\gamma \quad (3.39)$$

dB olarak zayıflama ise şu şekilde verilir;

$$P_r \text{ dBm} = P_t \text{ dBm} + K \text{ dB} - 10 \gamma \log_{10} \left[\frac{d}{d_0} \right] \quad (3.40)$$

Bu yaklaşımda K sabit bir sayı olup anten karakteristiklerine ve ortalama kanal zayıflamasına bağlıdır. d₀ uzak alan için bir referans uzaklığıdır ve γ yol kaybı üssüdür. K, d₀ ve γ 'nin ya deneysel ya da analitik modele yaklaşık hesaplamalar için değerler alabilir. Özellikle serbest uzay yol kaybı modeli, iki ışın modeli, Hata ve COST Hata modeli eklentisinin hepsi (3.39) ile benzer formdadır. Antenin yakınındaki saçılmadan dolayı bu model genellikle d>d₀ transmisyon uzaklıklarında geçerlidir. d₀ tipik olarak kapalı alanlarda 1-10m açık alanda 10-100m dir.

Basitleştirilmiş model deneysel ölçümlerini yaklaşık olarak hesap etmek için kullanıldığında d_0 uzaklığında tüm yönlü (omnidirekt) anten olduğu varsayılarak $K < 1$ in değeri serbest uzay yol kazancına ayarlanır ve bu varsayım 100 m mesafede serbest uzay yol kaybı için ölçülen deneysel veriler tarafından desteklenir (Goldsmith, 2005).

K d_0 mesafesindeki ölçümden belirlenebileceği gibi ortalama karesel hatayı minimize etmek için optimize edilir. γ değeri yayılım ortamına bağlıdır. Yaklaşık olarak serbest uzay için γ 'nin değeri iki-ışın modeli içinde 2 veya 4 tür. Daha karmaşık ortamlar için γ minimum ortalama karesel hata (MMSE) aracılığıyla deneysel ölçümlere uydurmak için elde edilebilir. γ nin değeri alternatif olarak deneye dayanan modellerden de frekans ve anten yüksekliği hesaba katılarak elde edilebilir(Erceg, 1999). γ nin kapalı ve açık alan ortamlar için 900 MHz ve 1.9 GHz için değerlerini özetleyen bir tablo aşağıda verilmiştir(Goldsmith, 2005).Yol kaybı üssü yüksek frekanslar için yüksek olma eğilimi gösterirken yüksek antenler için düşük olma eğilimi gösterir (Goldsmith,2005). Kapalı alan deneysel yol kaybı üssünün geniş aralıkta değişimi zemin, cisimler ve bölmelerden kaynaklanır.

Çizelge 3.2 Tipik yol kaybı parametresinin değerleri

Yayılma Ortamı	γ aralığı
Şehir içi makro hücreler	3.7-6.5
Şehir içi mikro hücreler	2.7-3.5
Ofis Binası(Tek Kat)	1.6-3.5
Ofis Binası (Çok katlı)	2-6
Mağaza	1.8-2.2
Fabrika	1.6-3.3
Ev	3

3.7 Gölge Sönümleme

Kablosuz kanalda ilerleyen bir sinyal yolu üzerindeki engelleyici cisimler nedeniyle rastlantısal değişimler yapar bu değişimler alınan güçte rastlantısal değişimlerin artmasına sebep olur. Bu etkiler sonucu oluşan bu rastlantısal zayıflama için bir modele gereksinim duyulur. Engelleyici cismin yeri, boyutları ve dielektrik özellikleri, rastlantısal zayıflamalara yol açan yansıtıcı yüzeyler ve kırınımına sebep olan cisimlerdeki değişimler gibi bilinmez olduğundan istatistiksel modeller bu zayıflamayı tanımlamak için kullanılmalıdır. Bu modelin, kapalı ve açık alanlardaki radyo yayılma ortamlarındaki değişimleri doğrulukla modelleyebildiği ispatlanmıştır(Erceg ,1999)(Goldsmith ,1994) .

Log-normal gölgeleme modelinde verici-alıcı gücü oranının $\psi = P_t / P_r$ 'nin aşağıda verilen log-normal dağılımla raslantısal olduğu kabul edilir

$$p(\psi) = \frac{\xi}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\psi_{dB}}\psi} \exp\left[-\frac{(10\log_{10}\psi - \mu_{\psi_{dB}})^2}{2\sigma_{\psi_{dB}}^2}\right] \quad \psi > 0 \quad (3.41)$$

$\xi = 10/\ln 10$, $\mu_{\psi_{dB}}$ $\psi_{dB} = 10\log_{10}\psi$ 'un ortalamasıdır ve $\sigma_{\psi_{dB}}$ dB olarak ψ_{dB} 'in standart sapmasıdır. Ortalama analitik modellerden veya ölçümlerden elde edilebilir. Deneysel ölçümler için $\mu_{\psi_{dB}}$ deneysel yol kaybına eşittir. Çünkü gölgeleme etkisinden gelen zayıflama ölçümlerin içindedir. Analitik modeller için $\mu_{\psi_{dB}}$ yol kaybı ve engelden kaynaklanan zayıflamayı içermelidir. Farklı bir seçenek olarak yol kaybı bir sonraki kısımda anlatıldığı gibi gölgelemeden ayrı olarak hesaplanabilir. Şuna dikkat etmek gerekir ki eğer ψ log-normal dağılımda ise alınan güç ve alıcıdaki SNR da log-normal dağılıma sahip olacaktır. Çünkü bunlar sadece ψ 'in sabit katlarıdır. Alınan SNR için bu log-normal rastlantı değişkeninin standart sapması ve ortalaması zaten dB cinsindendir. Log-normal alınan güç için rastlantı değişkeni gücün birimine sahip olacağından ortalama ve standart sapma dB yerine dBm ya da dBW olacaktır.

ψ ortalaması (Lineer ortalama yol kazancı) (3.41) ten şu şekilde elde edilebilir.

$$\mu_{\psi} = E[\psi] = \exp\left[\frac{\mu_{\psi_{dB}}}{\xi} + \frac{\sigma_{\psi_{dB}}^2}{2\xi^2}\right] \quad (3.42)$$

dB cinsinden lineer ortalama dan logaritmik ortalama ya dönüşüm (3.42) den türetilir.

$$10\log_{10}\mu_{\psi} = \mu_{\psi_{dB}} + \frac{\sigma_{\psi_{dB}}^2}{2\xi} \quad (3.43)$$

Log-normal gölgelemede ortalama yol kaybı tipik olarak logaritmik ortalama $\mu_{\psi_{dB}}$ ile tanımlanır. Değişkenlerin değişimiyle ψ nin dB dağılımının $\mu_{\psi_{dB}}$ ortalama ya sahip ve $\sigma_{\psi_{dB}}$ standart sapmalı gauss dağılımı olduğu görülür.

$$p(\psi_{dB}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\psi_{dB}}} \exp\left[-\frac{(\psi_{dB} - \mu_{\psi_{dB}})^2}{2\sigma_{\psi_{dB}}^2}\right] \quad (3.44)$$

Log-normal dağılım $\mu_{\psi_{dB}}$ ve $\sigma_{\psi_{dB}}$ şeklinde iki parametreyle tanımlanır. $\psi = P_t / P_r$ olması sebebiyle her zaman 1 den büyük ya da 0 'a eşittir. Log-normal dağılımın (3.41) $0 \leq \psi \leq \infty$ aralığı için değerler aldığına dikkat etmek gerekir. Nitekim $\psi < 1$ için $P_r > P_t$ fiziksel olarak mümkün değildir. Fakat bu olasılık $\mu_{\psi_{dB}}$ yüksek değerler alıyor ve pozitifken çok küçüktür. Böylece log-normal model fiziksel modeli $\mu_{\psi_{dB}} \gg 0$ iken daha doğru olarak yakalayabilir.

Gölgeleme modeli için eğer ortalama ve standart sapma deneysel ölçümlere dayanıyorsa lineer mi yoksa dB cinsinden değerleri alacağı soruları akla gelebilir. $\{p_i\}_{i=1}^N$ yol kaybı ölçümleri için $\mu_{\psi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$ ya da $\mu_{\psi_{dB}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10 \log_{10} p_i$ olarak mı hesap edileceği en önemli sorudur. Bir benzer soruda deneysel varyansı (değişinti) hesaplamak için sorulabilir. Pratikte ortalama yol kaybını ve varyansı dB ortalamalara dayanarak hesaplamının birçok farklı sebebi vardır. İlk olarak aşağıda gördüğümüz gibi log-normal model için matematiksel ispatlar dB ölçümlere dayanır. Buna ek olarak literatür göstermektedir ki dB olarak alınan deneysel ortalamalarda yol kaybı ölçümlerinde daha az hesaplama hatası yapılmıştır (Goldsmith, 1994). Sonuç olarak “Bölüm 3.5.4 “te gördüğümüz gibi güç kaybı modelleri sıklıkla mesafeyle karışık dB cinsinden deneysel güç ölçümleriyle parçalı lineer yaklaşıklık modeliyle elde edilir (Rappaport, 2001).

Açık alanlardaki iletim kanalları için yapılan en çok deneye dayanan çalışmalarda 4 ile 13 arası değişen bir $\sigma_{\psi_{dB}}$ standart sapma ortaya koyulur. (Berg ,1992), (Goldsmith,1993), (Gudmunson,1991), (Stuber ,2001). Ortalama güç $\mu_{\psi_{dB}}$ mesafeyle yol kaybı ve mesafe arttıkça araya giren zayıflamaya sebep olan cisimlerin artması nedeniyle değişir. dB olarak alınan ortalama sinyal için engellerden kaynaklanan zayıflamanın gölgelemeye hakim olduğu durumda aşağıdaki modelle dB cinsinden alınan ortalama sinyalin dağılımının Gauss olduğu ispat edilebilir. Sinyalin zayıflaması d derinliğindeki bir cisim boyunca yaklaşık olarak şuna eşittir:

$$s(d) = e^{-\alpha d} \quad (3.45)$$

α zayıflama sabiti, cismi meydana getiren maddeye ve dielektrik özelliklerine bağlıdır. Eğer tüm engelleyici cisimlerin yaklaşık olarak aynı α sahip oldukları ve i. engelleyici cismin rasgele bir d derinliğine sahip olduğu varsayılırsa bu alan için sinyal zayıflaması şu şekilde olur.

$$s(d_t) = e^{-\alpha \sum_i d_i} = e^{-\alpha d_t} \quad (3.46)$$

$d_t = \sum_i d_i$ sinyalin yolu boyunca karşısına çıkan rasgele cisimlerin derinlikleri toplamıdır.

Eğer alıcı ve verici arasında birçok cisim varsa Merkezi Limit Teoremi gereği d_t yi bir gauss rastlantı değişkeni olarak alabiliriz. Böylece $\log s(d_t) = -\alpha d_t$ μ ortalama ve σ standart sapmaya sahip bir gauss dağılımına sahip olacaktır. σ değeri ortama bağlıdır.

Gölgelemenin farklı frekans ve ortamlar için mesafeyle deneysel korelasyonunu karakterize etmek için birçok ölçüm yapılmıştır (Gudmunson,1991),(Weitzen,2002),(Turin,2002) (Algans, 2002),(Marsan,1990). Bu korelasyon (ilişki) için en genel ve deneysel ölçümlere dayanan analitik model ilk olarak Gudmunson tarafından öne sürülmüştür. Bu modelde $\psi(d)$ birinci dereceden özbağımlı (autoregressive) işlem olarak kabul edilmiştir. Birbirlerine δ uzaklıktaki iki nokta arasındaki gölge sönümlemesi

$$A(\delta) = E[(\psi_{dB}(d) - \mu_{\psi_{dB}})(\psi_{dB}(d + \delta) - \mu_{\psi_{dB}})] = \sigma_{\psi_{dB}}^2 \rho_D^{\delta/D} \quad (3.47)$$

şeklinde tanımlanır. ρ_D , aralarında sabit D uzaklık bulunan iki nokta arasındaki korelasyondur. Bu korelasyon deneysel olarak elde edilmelidir ve korelasyon sinyalin yayılım ortamına ve taşıyıcı frekansına bağlı olarak değişir. Kırsal kesimlerde ki makro hücreler için $f_c=900$ MHz de $D=100$ m için $\rho_D=0.82$ ve şehir içi mikro hücrelerde $f_c=2$ GHz de $D=10$ m için $\rho_D=0.3$ olduğu tespit edilmiştir (Gudmunson,1991), (Weitzen,2002). $D=X_c$ ve $\rho_D=1/e$ verilerek deneysel bağılık kaldırılarak model basitleştirilebilir. Basitleştirilmiş olarak

$$A(\delta) = \sigma_{\psi_{dB}}^2 e^{-\gamma/X_c} \quad (3.48)$$

olarak yazılabilir. Bu modeldeki ilişkisizleştirme (decorrelation) mesafesi X_c , sinyal özilişkisinin (autocorrelation)maksimum değerinin $1/e$ sine eşit olduğu mesafedir. Açık alandaki sistemlerde X_c 50-100m arası değişir (Weitzen, 2002),(Marsan,1990). v hızında hareket eden kullanıcılar için τ zamanındaki gölgeleme ilişkisizleştirmesi (decorrelation) (3.47) ve (3.48) de $v\tau=\delta$ yerine koyarak elde edilir.

Birinci derecede özbağımlı (autoregressive) ilişki modelinin (3.47) ve onun basitleştirilmiş modelinin analizi ve simülasyonu yapılabilir. Özellikle ψ_{dB} , ilk önce $\sigma_{\psi_{dB}}^2$ gücünde bir gauss gürültüsü oluşturup bunu (3.49) için $\rho_D^{\delta/D}$ ve (3.48) için $e^{-\gamma/X_c}$ cevaplı birinci dereceden filtreden geçirerek elde edilebilir. Filtre çıkışı istenen ilişkiye sahip gölgeleme rastlantısal işlemi üretecektir (Gudmunson ,1991),(Stuber, 2001).

3.8 Birleştirilmiş Yol Kaybı ve Gölgeleme

Yol kaybı ve gölgeleme modelleri yol kaybından ve gölgelemeden kaynaklanan güç azalışlarını hesaplayabilmek için birleştirilebilir. Bu birleştirilmiş model de ortalama dB yol kaybı ($\mu_{\psi_{dB}}$) “Şekil 3.1” de gösterilen eğri gibi 0 dB bir ortalamaya ve bu yol kaybı etrafındaki değişimler olarak yol kaybı modeli ve gölge sönümlenmesiyle temsil edilir. Bu eğri basitleştirilmiş yol kaybı modeli (3.39) ,(3.47) ve (3.48) tanımlanan log-normal gölgeleme rasgele işleminin birleşiminin çizimidir. Alınan gücün bu modelde dB olarak gösterimi :

$$\frac{P_r}{P_t}(dB) = 10 \log_{10} K - 10 \gamma \log_{10} \frac{d}{d_0} - \psi_{dB} \quad (3.49)$$

şeklindedir. ψ_{dB} , varyansı $\sigma_{\psi_{dB}}^2$, beklendik değeri (ortalaması) 0 olan sahip Gauss dağılımlı rastlantı değişkenidir. (3.49) de “Şekil 3.1”de gösterildiği gibi yol kaybı $\log_{10}d$ ‘ye göre 10dB/decade lik bir eğimle lineer olarak azalır. γ yol kaybı üssüdür. Gölgelemeden kaynaklanan değişimler ilişkisizleştirme (decorrelation) mesafesi X_c de daha hızlı olarak değişir.

4. HÜCRESEL EL DEĞİŞTİRMENİN TEMELLERİ

Bu bölüm el değiştirmenin (Ed) çeşitli yönlerini sunmakta ve hücresel sistemin Ed ile ilgili özelliklerini anlatmaktadır. Ed nin istenen özelliklerinin altı çitilmekte ve Ed nin kompleks yapısı anlatılmaktadır. Belirli Ed gereksinimleri olan bir çok sistem senaryosuna burada değinilmiştir. Ed işleminin uygulaması açıklanmıştır.

4.1 El Değiştirmeye Giriş

El Değiştirme

Bir hareketli istasyonun bir baz istasyonundan yada kanalından ötekine aktarılması işlemine el değiştirme denir. Ed hareketli istasyonun çağrı sırasında hareketinin devamlılığını sağlayan en önemli yöntemdir. Çağrının devam ediyor olması bu işlemin süresinin önemini arttırır. Ed kararı o anda hizmet veren BSC tarafından verilir. Ancak o anda BSC direkt olarak kablosuz kanal hakkında bilgiye sahip değildir. Bu sebeple BTS'lerden ve Hİ 'dan hat ile ilgili bilgileri alır. Hareketli istasyon ölçüm sonuçlarını periyodik olarak BTS 'e gönderir. Ölçüm sonuçlarının içinde aşağı linkin (baz istasyonundan hareketli istasyona) ve çevre hücrelerin sinyal kalitesini belirten bilgiler bulunur. O anda hizmet veren BTS de yukarı linkin(hareketli istasyondan baz istasyonuna) kalitesini ölçer. Bütün ölçüm raporları BSC 'ye gönderilir ve bu verilere dayanarak el değiştirmeye gerek olup olmadığına karar verilir.

El değiştirme sebebiyle kanal değişikliği Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) de zaman boşluğu sebebiyle, Frekans Bölmeli Çoklu Erişim(FDMA) kullanıldığında frekans bandı sebebiyle, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) kullanıldığında kod sebebiyle olur.

4.1.1 El Değiştirme Çeşitleri

El değiştirmenin hücre içi, santral içi gibi meydana geldiği durumlara göre çeşitlere ayrılır. Basitten karmaşık doğru aşağıda bunlar sıralanmıştır.

Hücre İçi Ed

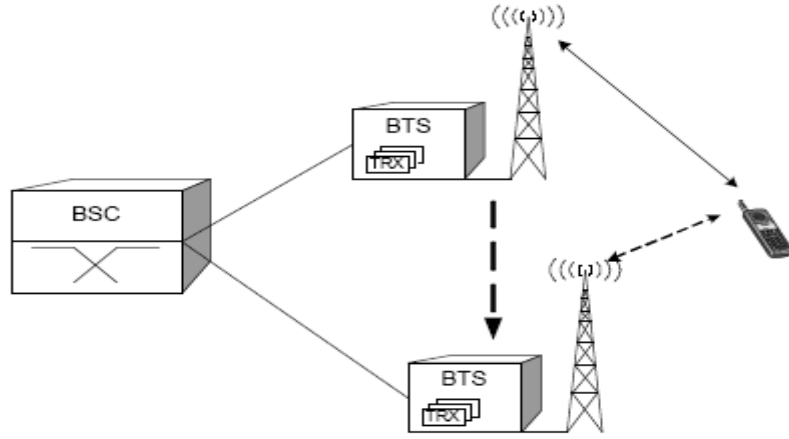
Hücre içi ve BTS ler arası Ed terimi literatürde aynı durumu anlatır. Sadece frekans değişikliği yapılır. BTS birçok hücreyi kontrol edebileceğinden BTS 'ler arası Ed hücre içi Ed den daha üst seviyededir. Benzer olarak algılanmasının sebebi aynı BTS içinde aynı frekansın kullanılması mümkün değildir. Hücre içi Ed aslında tam bir Ed sayılmayabilir. Sadece mevcut çağrının frekansı değiştirilir. Frekans değişiklikleri sinyal kalitesinin düştüğü fakat komşu hücrenin sinyal kalitesinin daha iyi olmadığı durumda yapılır. Linkin sinyal kalitesinin

azalmasının bir sebebi aynı frekans kullanımından kaynaklanan interferanstır. Böylece başka bir kanala geçilerek interferanstan kurtulabilir.

BTS içi Ed diğerlerinden daha basittir. Çünkü hücreler senkronizedir. Hİ yeni hücreyle haberleşeceği zamanı bilir. Bu diğer Ed 'lere göre daha hızlı gerçekleşir.

BSC İçi Ed:

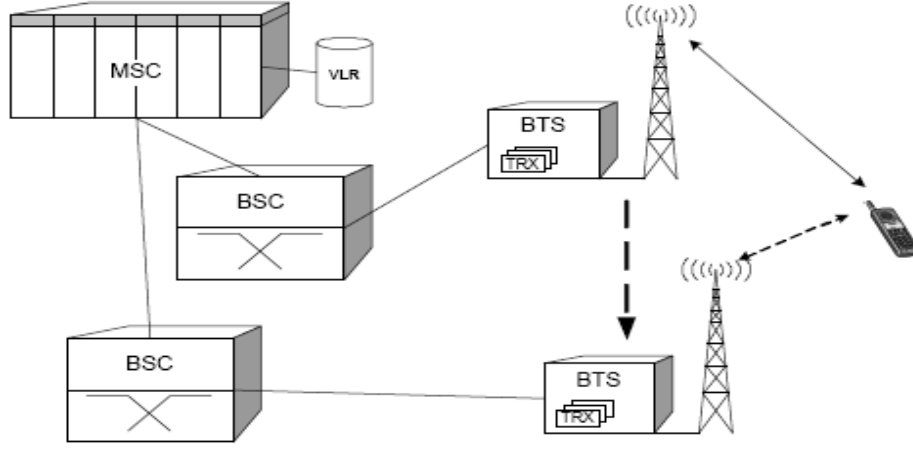
BSC içi Ed aynı BSC ye bağlı BTS ler arasında gerçekleşir. MSC Ed 'ye katılmaz fakat haberdar edilir.



Şekil 4.1 BSC içi el değiştirme.

MSC İçi Ed

BSC Ed 'ye gerek olduğuna karar verdiğinde hedefteki hücre kendisi tarafından kontrol edilmiyorsa MSC 'nin yardımına ihtiyaç duyar. Sonuç olarak ya MSC içi ya da MSC arası Ed yapılır. MSC içi Ed durumunda hedef hücre aynı MSC tarafından kontrol edilen farklı bir BSS 'te yer alır. Kaynak BSS ile bağlantı kurulunca MSC kaynakların tahsisi için hedef BSS ile bağlantı kurar sonrada kaynak BSS 'i bilgilendirir. Başarılı kaynak tahsisinden sonra hareketli istasyona yeni BSS 'e geçmesi için komut gönderir. Aşağıdaki şekilde bu işlem görülmektedir.

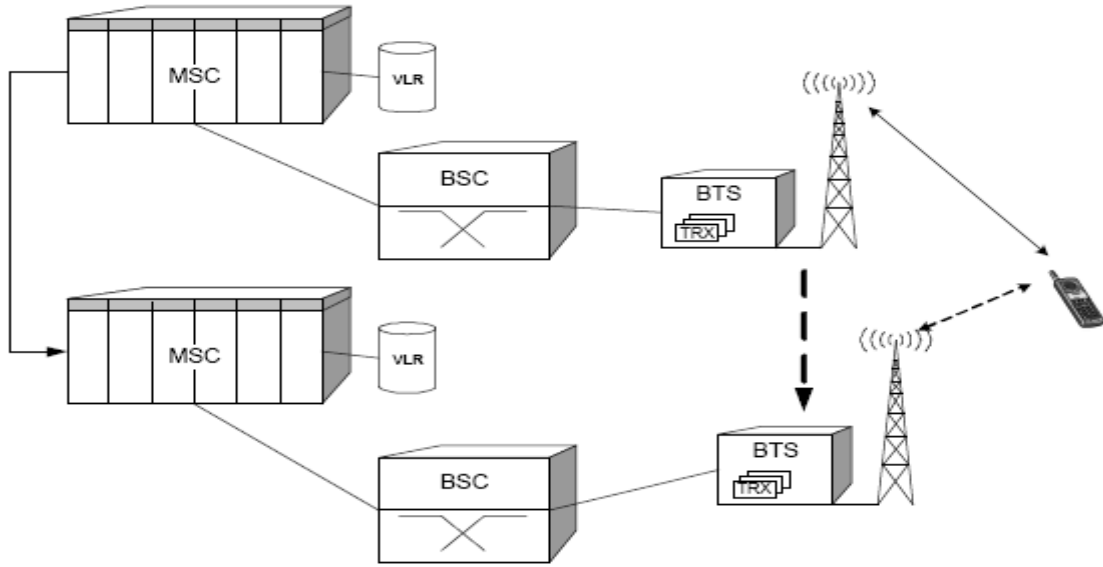


Şekil 4.2 MSC içi el değiştirme.

MSC Arası Ed

MSC ‘ler arası Ed hedef bazın farklı bir MSC ‘ye bağlı olması durumunda yapılır. O sırada hizmet veren MSC-A Ed isteği için hedef hücrenin bulunduğu MSC-B ile kaynak tahsisi için bağlantı kurar. MSC-B deki BSS ‘te kaynak tahsisi tamamlanınca çağrı yeni MSC-B ye geçer. Çağrı tamamen diğer MSC ye geçse bile MSC-A bağlantıyı çağrı bitene kadar kesmez. Bunun sebebi VLR ‘deki bilgilerin ancak mevki güncellemesi sonucu aktarılabilmesidir. Bu sebeple mevki güncellemesi her MSC arası Ed den sonra yapılmaktadır. Aşağıdaki şekilde MSC arası Ed görülmektedir.

El değiştirme ayrıca sert (Hard handoff) ve yumuşak (Soft handoff) iki gruba ayrılır. Sert el değiştirme “bitirmeden kes” anlamına gelir. Yani eski bazla olan bağlantı yeni baza bağlantı kurulması beklenmeden kesilir. Sert el değiştirme ayrık radyo sistemleri, farklı frekans atamaları ya da farklı hava ara yüzü karakteristikleri ya da teknolojileri arasında olur. Yumuşak el değiştirme “Kesmeden önce yap” manasına gelir. Eski baz istasyonu ile aradaki bağlantı yenisiyle bağlantı kurulmadan kesilmez. Aslında normal olarak birden çok baz istasyonu aynı anda hareketli istasyona bağlıdır. Yumuşak el değiştirmenin detayları “Bölüm 4.9” da anlatılacaktır



Şekil 4.3 MSC arası el değiştirme.

4.1.2 El Değiştirmenin Nedenleri

Hücresel haberleşmeyi planlarken aşağıdaki şu evreler göz önünde bulundurulur.

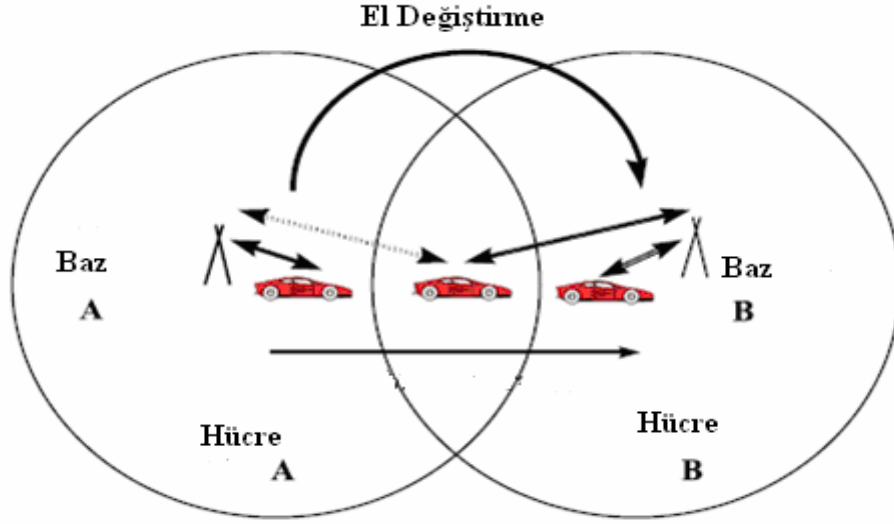
- Trafik yükünün yoğunluğunu hesaplama
- Hücre boyutunu ve kapasitesini belirleme
- Her yönlü ve belirli bölümlere yönelik anten yönleri hakkında karar vermek.
- Baz istasyon yerini en iyi şekilde belirleyerek istenen alanı kapsamak
- Frekans tahsisi yapmak
- Güç kontrol parametrelerinin seçimi
- El değiştirme parametrelerinin seçimi

Bu bölümde hücresel planlamanın el değiştirme ile ilgili bölümü ilgili inceleme yapılmaktadır. Ed işlemi spektral etkinliğe(örneğin belirli bir alanda servis verilebilecek en çok çağrı sayısı gibi) ve kullanıcılar tarafından algılanan kaliteye karar verir. Etkili Ed algoritmaları düşük maliyeti muhafaza ederken haberleşme sisteminin kapasitesini ve servis kalitesini artırır.

“Şekil 4.4” hareketli istasyonun baz istasyonu A ’dan baz B ye ilerlediği basit bir Ed senaryosunu gösterir. Başlangıçta hareketli istasyon baz A ’ya bağlıdır. İki hücre arasındaki üst üste binen bölge Ed bölgesidir ve hareketli istasyon ya baz A ’ya yada baz B ’ye bağlanır. B ’ye yakın olduğu zaman B ’ye bağlı kalır.

Ed işlemini iki ayrı faz olarak düşünülebilir. Başlangıç fazı (Ed 'ye karar verme aşaması) ve işletim fazı(yeni kanalın hareketli istasyona atanacağı ya da çağrının sonlanacağı aşama). Ed algoritmaları normal olarak ilk fazı gerçekleştirirler.

Ed 'ye radyolink, ağ yönetimi ve servis seçenekleri sebep olur.



Şekil 4.4 Hücresel Sistemde El Değiştirme Senaryosu.

Radyolinkle ilgili sebepler

Kullanıcılar tarafından fark edilen kaliteyi yansıtır. Servis kalitesini etkileyen ana değişkenler Alınan Sinyal Gücü (RSS), Sinyal/Girişim Oranı (SIR) ve sistemle ilgili kısıtlamalardır. Yetersiz RSS ve SIR servis kalitesini azaltır. Bunun üstüne kesin sistem gereksinimleri karşılanmazsa servis kalitesi ileri derecede etkilenecektir.

El değiştirmeye yetersiz RSS sebebiyle şu durumlarda ihtiyaç duyulur.

Hareketli istasyonun hücre sınırına yaklaşması (RSS 'in belirli bir eşik seviyesinin altına inmesi)Hücre içersinde sinyal boşluklarına düşmesi.

SIR 'ın düşmesi CCI (Eş Kanal İnterferansı)'yı artırır ve bu sebeple Ed gerekir. Bit Hata Oranı (BER) SIR 'ı hesaplamak için kullanılabilir.

Sistemle ilgili kısıtlamalara örnek olarak TDMA sistemindeki senkronizasyon ihtiyacı verilebilir.

Ağ yönetimi ile ilgili sebepler

Ağ bir hücrede sıkışıklığı önlemek için Ed yapar. Aynı kanal birkaç baz istasyonunda alınmış olması durumunda ağ Ed yapar. Eğer ağ kullanılan bağlantı yolunda bilgi transferinde sorunlar olduğunu tespit eder veya bu yolun en kısa yol olmadığına karar verirse çağrıyı el değiştirir.

Servis seçenekleri ile ilgili durumlar

Hareketli istasyonun kullanmak istediği servisin o baz tarafından sağlanmadığı durumlarda servisi sağlayabilecek baza el değiştirme yapılır.

El değiştirme hareketli istasyonun daha ucuz bir servis sağlayıcısına bağlanmak istemesiyle de başlayabilir.

Ağ yönetimi ve servise bağlı Ed ler genellikle çok sık olmazlar ve başa çıkmak kolaydır. Fakat radyolink sebebiyle oluşan Ed ler ile çok sık karşılaşılır ve başa çıkması daha zordur.

Aşağıda beş ana konuyu daha inceleyeceğiz

Konu 1:El Değiştirmenin Karmaşıklığı ve İstenen Özellikleri:

1.konu “Bölüm 4.2” ve “Bölüm 4.2.1” den oluşmaktadır. Etkili bir Ed algoritması bu özelliklerden çoğunu uygun dengelemeler yaparak gerçekleştirilir. Fakat topoğrafik özellikler, trafik değişiklikleri ve yayılma ortamı ve sistemle ilgili sınırlamalar gibi faktörler Ed algoritmasını zorlamakta ve Ed işlemini karmaşık hale getirmektedir.

Konu2:Kurulum Senaryoları ve El Değiştirme:

Bu konuda farklı sistem kurulum senaryoları ve onların Ed prosedürüne getirdiği kısıtlamalar anlatılmıştır. Özel parametrelerle Ed algoritmaları düzgün dağılımlı olarak farklı haberleşme sistemi senaryolarında performans göstermektedirler. Sistem senaryoları “Bölüm 4.3”te incelenecektir. Farklı sistemlere örnek olarak makro hücreler, mikro hücreler, örtü sistemler, entegre hücresel sistemler, entegre kablosuz ve hücresel sistemler, entegre karasal ve uydu sistemleri verilebilir.

Konu 3:El Değiştirme Algoritmaları:

Bu konu “Bölüm 4.4,4.5 ve 4.6”dan oluşmaktadır. Ed algoritmaları ikiye ayrılır. Kullandıkları değişkenlere göre (Ed kriterleri) ve Ed işlemine uyguladıkları stratejilerine göre Ed kriteri Bölüm 4.4 tartışılmıştır. Bölüm 4.5 geleneksel Ed algoritmalarını anlatmaktadır. “Bölüm 4.6” da gelişen Ed algoritmaları anlatılmıştır.

Konu 4:Hücresel Sistemde Kaynak Yönetimi:

Konu 4 Ed ve diğer kaynak yönetimlerinin görev ve detaylarını incelemektedir. “Bölüm 4.7 ve 4.8” den oluşmaktadır. Önceliği Ed vermek Ed ile ilgili sistem performansını arttırmak için bir yöntemdir. “Bölüm 4.7” El değiştirme önceliği sistemlerini (koruma kanalları, kuyrukta bekletme vs.) anlatmaktadır. Ed hücresel sistem tarafından gerçekleştirilen radyo kaynak yönetimi fonksiyonlarından birini temsil eder. Diğer kaynak yönetimi fonksiyonları giriş kontrolü, kanal atama ve güç kontrolüdür. Eğer kaynak yönetimi görevlerinden bazıları bütün yöntem olarak davranılırsa, uygun dengelemelerle daha iyi bir sistem performansı elde edilir. Entegre kaynak yönetimi “Bölüm 4.8” in konusudur.

Konu 5:El Değiştirmenin Uygulanışı

Bu konuda Ed işleminin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmaktadır. Ed yapma kararı merkezi veya dış merkezli olabilir. Ed protokolleri Ed işleminin uygulanması için farklı sistemlerin kullanıldığı yaklaşımları tanımlar.

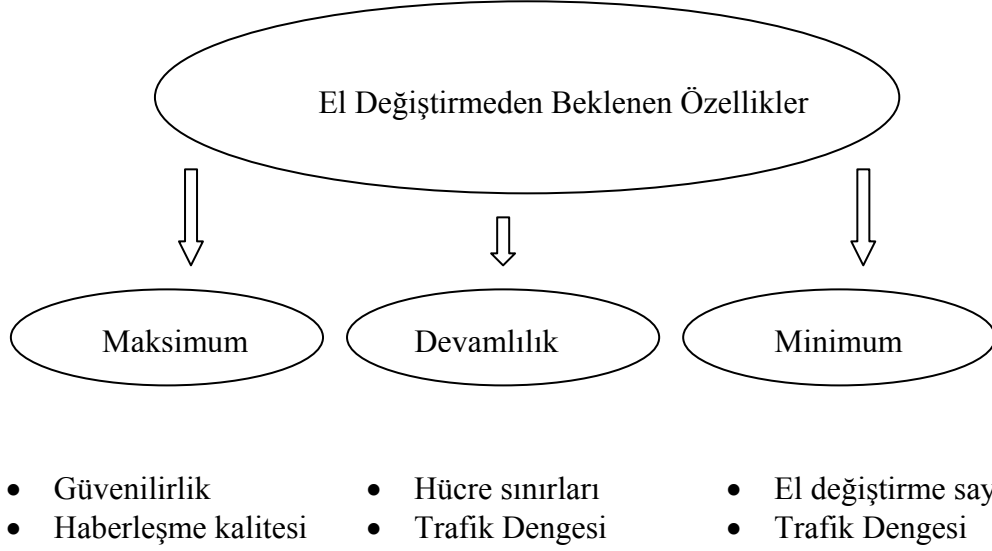
4.2 El Değiştirme Algoritmasının Karmaşıklığı ve İstenen Özellikleri:

4.2.1 El Değiştirme Algoritmasının İstenen Özellikleri

Etkili bir Ed algoritması, birçok istenilen özellikleri farklı işletim karakteristikleri arasında denge kurarak gerçekleştirir. “Şekil 4.5” de ön çok gereksinim duyulan Ed algoritma özellikleri ve literatürdeki bir çok algoritmasının istenen özellikleri listelenmiştir. (Pollini,1996)

- El değiştirme hızlı olmalıdır ki kullanıcı servis kalitesindeki azalmayı veya servisteki kesilmeyi hissetmemelidir. Servisteki kalitesinin azalması sinyal seviyesindeki sürekli azalma veya CCI ‘da ki artıştan kaynaklanabilir. Servisteki kesilme Sert Ed ‘nin ”yapmadan kes” yaklaşımından kaynaklanmaktadır. Ed algoritmasının işletimdeki gecikmesinin MSC ‘deki ağ gecikmesine eklenildiğine dikkat etmek gerekir. Hızlı Ed ayrıca CCI ‘ı azaltır. Çünkü hareketli istasyonun yeni hücre içinde çok fazla ilerlemesine engel olur.
- El değiştirme güvenilebilir olmalıdır. Ed den sonra çağrının kalitesinin yüksek olması gerekir. SIR ve RSS aday bazın servis kalitesinin potansiyelini belirlemeye yardımcı olur.
- El değiştirme başarılı olmalıdır. O yüzden aday bazda boş bir kanal bulunmalıdır. Etkili kanal atama algoritması ve trafik dengeleme işlemi başarılı Ed olasılığını artırır.
- El değiştirme etkilerinin servis kalitesindeki etkileri minimum olmalıdır. Servis kalitesi Ed den önce düşük RSS, SIR seviyesi sebebiyle zayıf olabilir.

- El değiştirme planlanan hücresel sınırların devamlılığı sağlamalıdır ki çakışmalar yüksek interferansı ve yeni hücre içinde ayrılmış kanalların kullanımını azaltsın. Her baz istasyonu yalnızca planlanan yükü taşıyabilir. Bunun ötesinde eski baza bağlı olarak hareketli istasyonun diğer hücre içerisinde çok uzağa gitmesi interferans olasılığını arttırır.



şekil 4.5 El değiştirmeden Beklenen Özellikler

- El değiştirme adedi minimize edilmelidir. Aşırı Ed işlem yükünün artmasına sebep olurken şu sonuçlara neden olabilir.
1. Ed için çok sayıda girişimde bulunulması çağrının kanala erişmesinin engellemesi riskini arttırır. Bu da daha yüksek ağrı kaybı olasılığına sebep olur.
 2. Daha çok teşebbüs MSC ‘deki gecikmeyi arttırır bu sinyal gücünün azalmasına yol açar. Ayrıca çağrıya yeterli SIR sağlanamazsa ağrı kaybedilir. Ed yeni baz istasyonuna çağrıyı bağlamak için ağ kaynaklarını kullanır. Böylece Ed sayısı minimize edilirken anahtarlama yükü de azalır. Gereksiz Ed ler engellenmelidir ki mevcut baz istasyonu istenen kaliteyi interferans olmadan sağlayabilsin.
- Birden fazla aday baz istasyonu olabileceğinden aday baz istasyonu doğru olarak seçilmelidir. Doğru hücreyi bulmak gereksiz ve sık el değiştirmeyi engeller.
 - El değiştirme prosedürü, o sırada devam eden çağrılarının kayıplarını istenen servis kalitesini sağlayarak minimize etmelidir.

- El değiştirmenin yeni çağrının bloke olma olasılığını minimize eden bir etkiye sahip olması gerekir. Örnek olarak Ed için ayrılan koruma kanalları yeni çağrının bloke olma olasılığını arttır.
- El değiştirme prosedürü komşu hücrelerdeki trafiği dengelemelidir. Kanal ödünç almayı ortadan kaldırarak hücre planlamasını ve işleimini basitleştirmelidir ve yeni çağrının bloke olma olasılığını azaltmalıdır.
- Genel interferans seviyesi Ed prosedürü ile minimize edilmelidir. Saf minimum güç iletimi ve planlanan hücre sınırlarının korunması bu amacı gerçekteştirir.

4.2.2 El Değiştirme Algoritmasının Karmaşıklıkları

Mevcut el değiştirme algoritmaları karmaşıklıklar yüzünden yalnızca belirli durumlarda iyi performans gösterir. Ed işlemini karmaşıklaştıran birçok faktör daha iyi bir Ed algoritması dizayn etmeyi gerektirir.

Hücresel Yapı

Farklı hücresel yapılar veya sistemler el değiştirme algoritmasına farklı kısıtlamalar ekler. Ayrık mikro ve makro hücrelerin hücresel sistemde birlikte bulunduğu varsayılır. Bu durumda mikro hücrelerin trafiğin yoğun olduğu yerleri kapsarken makro hücreler düşük yoğunluktaki trafiğin yerleri kapsar. İyi performans elde etmek için farklı yarıçaptaki hücreler farklı Ed parametreleri gerektirir. Bazı noktalarda mikro ve makro hücreler birlikte bulunur. Böylece mikro hücrelerden taşan çağrılara ve çok hızlı hareketli istasyon kullanıcılara makro hücreler hizmet verir.

Hücrenin boyutu azaldıkça çağrı başına düşen Ed sayısı artar ve RSS, SIR ve BER hızlı bir şekilde değişir. Buda Ed istekleri için gereken işlem süresinin azalmasına sebep olur. Bunun yanında altyapı tarafından hizmet sağlanan hareketli istasyon sayısının artmasına sebep olur.

Topoğrafik Özellikler

Bir sinyal profili yayılma yol kaybı üssünün büyüklüğu ve kırılma noktası ile tanımlanır ve yüzey şekilleriyle değişir. Ed algoritmasının performansı bölgedeki sinyal profiline bağlıdır.

Trafik

Pratikte trafik dağılımı zamanın ve uzayın fonksiyonudur. Sistem, trafik farklılıklarında iyi performans göstermelidir. Trafikteki uzaysal düzensizliklerle başa çıkmanın yolları komşu hücrelerle trafik dengelemesi yapmak, farklı boyutta hücreler kullanmak, hücrede düzgün dağılımlı olmayan kanal tahsisi yapmak ve dinamik kanal tahsisidir.

Yayılma Fenomeni

Radyo yayılımı etraftaki binalardan oldukça etkilenir. Örneğin bazı topolojik çevrenin etkisiyle baz istasyonundan uzak mesafedeki alınan sinyal gücü yakınında alınan sinyal gücünden daha yüksektir. Mikro hücrelerde yayılma karakteristikleri makro hücrelerden farklıdır(örneğin cadde köşe etkisi). Daha önceki çalışmalarında gösterdiği üzere çevreye bağlı Ed parametreleri çevreden bağımsız Ed parametrelerinden daha iyi sonuçlar verir.

Sistem Kısıtlamaları

Bazı hücresel sistemler dinamik güç algoritmalarıyla donatılmıştır ki bunlar hareketli istasyona minimum güç harcayarak belirli bir iletişim kalitesinin devam ettirilmesine olanak verirler. Bu sistemler güç kontrolü ve farklı amaçları gerçekleştirmek için gerekli Ed algoritmalarını kontrol ederler.

Mobilite

Hareketli istasyonun baz istasyonundan hızla uzaklaştığı durumlarda haberleşme kalitesi hızla düşer. Bu gibi durumlarda Ed hızlı yapılmalıdır.

Daha önemli olarak hücresel ağ gelişimi genellikle devam eden bir işlemdir. Yeni hücreler kademeli olarak gereken ihtiyacı karşılamak amacıyla eklenirler. Bu ağ evrimi uyarlanabilir kaynak yönetimini gerektirir. Gelişen hücresel sistemlerin performansı gözlenip yeniden gözden geçirilmelidir ki servis kalitesini ekonomik olarak sağlayabilsin. Özetlersek, dinamik hücresel çevrede yüksek performans elde etmek için Ed algoritmaları trafik yoğunluğunun değişimine, topoğrafik değişimlere ve yayılma şartlarının rasgele doğasına adapte olmalıdır.

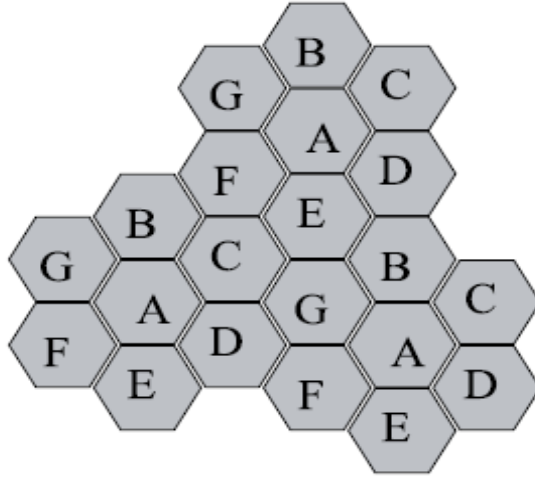
4.3 Hücresel Sistemin Detayları

Farklı hücresel yapılarda radyo yayılma çevresi ve Ed ile ilgili kısıtlamalar farklıdır. Bir sabit parametrelili Ed algoritması farklı sistemlerde iyi performans sergileyemez. Ed algoritmalarını tasarlarken haberleşme sisteminin karakteristiklerini hesaba katılmalıdır. Birçok farklı basit hücresel yapılar (mikro, makro ve örtü sistemler) ve özel yapılar (altyapılar, çok kanallı bant-genişlikli sistemler ve genişleme mimarileri) ileride açıklanacaktır. Entegre kablosuz ve hücresel sistemler, entegre hücresel sistemler ve entegre karasal ve uydu sistemlerine de değinilecektir.

4.3.1 Makro Hücreler

Makro hücrelerin yarıçapları kilometrelercedir. Düşük hücre geçiş oranı yüzünden merkezileştirilmiş Ed MSC 'deki çok sayıdaki hareketli istasyona rağmen mümkündür. Yukarı ve aşağı linkin sinyal kalitesi aynıdır. Baz istasyonları arasındaki geçiş bölgesi

geniştir. Ed planları pin-pon etkisinden (hareketli istasyonun kısa sürede iki baz arasında çok sayıda Ed yapması) kurtulmak için gecikmeye izin verirler. Fakat gecikme sinyal kalitesinin korunmasını sağlayacak kadar kısa olmalıdır. Çünkü yeni hücre içinde çok fazla ilerlendiğinde interferans artar. Yeni hücrenin içinde eski baza bağlı olarak ilerlemeye hücre sürüklemesi (cell dragging) denir. Makro hücreler daha hafif yol kaybı özelliğine sahiptir (Pollini,1996). Ortalama aralığı (sinyal gücü değişimlerinin ortalamasını almak için kullanılan zaman periyodu) ani dalgalanmaları yok edecek kadar uzun olmalıdır. Birinci ve ikinci nesil hücresel sistemler şehir içinde bile makro hücreler kullanarak geniş kapsama alanı sağlarlar. Tipik olarak bir makro hücredeki transceiver 'lar geniş bir alanı aydınlatmak için kule üzerindeki yüksek antenlerle yüksek güçte yayın yaparlar. “Şekil 4.6 ” da yedi hücreli üç kümeden (kluster) oluşan makro hücre sistemi resmedilmiştir. Bir küme A dan G 'ye adlandırılmış hücreler grubudur.



Şekil 4.6 Bir makro hücredeki yedi hücreli küme. (kluster)

4.3.2 Mikro Hücreler

Bazı kapasite artırım teknikleri (konuşma kodlama, kanal kodlama ve modülasyon gibi) istenen servis ihtiyacını yeterince karşılayamamaktadır. Mikro hücrelerin kullanımı hücresel sistemin kapasitesini arttırmada en etkili yoldur. Mikro hücreler kapasiteyi artırır fakat radyo kaynak yönetimi daha zorlaşır. Mikro hücreler bir, iki ,üç boyutlu ve yol,otoyol,farklı seviyeli bina kapsama alanları gibi sınıflara ayrılabilir. Mikro hücreler trafik yoğun bölgeler, şehir merkezi kümeli (yayalara ve araçlara hizmet veren bölgeler) ve bina içi 3 boyutlu mikro hücreler olarak ta sınıflanabilir (Saphira,1994). Komşu hücreler arasındaki üst üste binen kapsama alanları kesintisiz Ed yi sağlarlar. İstenen üst üste kapsama alanı bölgesi mümkün olan en küçük hücre için bazı kısıtlamalar koyar. Böylece üst üste binen kapsama alanı ve

sistem kapasitesi arasında dengelemeler yapmak gerekir. Hücre sınırları gölge sönmüleme etkisine göre genişletilip daraltılır(Ransom,1995).

Genel olarak mikro hücrelerdeki vericiler düşük güç yayarlar. Ayrıca hareketli istasyon da daha düşük güç yayarak daha uzun pil ömrü ve mobilite sağlar. Baz istasyonlarının anten yükseklikleri etrafındaki binalardan daha düşük olması sebebiyle sinyaller cadde boyunca ilerler . Anten her bir caddede 100-200 m lik bir alan kapsayabilir ve az sayıda bloğa hitap edebilir. Bu yayılma çevresi düşük zaman dağılımına sahip olup yüksek data iletimi oranlarına izin verir (Ransom,1995).

Mikro hücreler, kısa-zaman değişimlerine (trafik ve interferans değişimleri gibi) orta/uzun zaman farklılıklarına ve radyo ağının artan büyümesine karşı makro hücrelere göre daha hassastır. Ed sayısı hücre başına artarken bunun için gereken süre azalır. Şemsiye hücre kullanmak Ed oranını azaltmak için yoldur. Mikro hücre sınır geçişlerindeki artış ve beklenen yüksek trafik yüklerinden dolayı Ed işleminin merkez dışına alınması işlemi gerekmektedir (Berg,1992). Mikro hücresel çevre yüksek oranda interferans-sınırlıdır. (Gürültü ihmal edilebilirken interferans esas alınacak noktadır.)

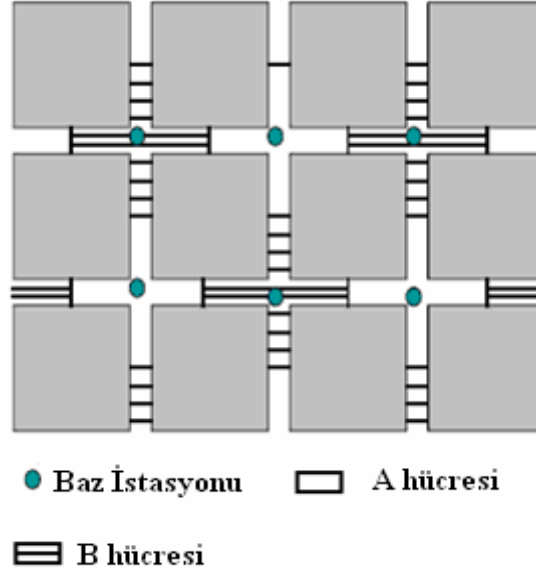
Mikro hücreler makro hücrelerde bulunmayan şu kısıtlamalara sahiptirler(Shapira,1994).

- i- Kablolama uzunluğu bir çok sokak lambası boyutunda baz istasyonu kurulabilmesi sebebiyle azaltılmalıdır.
- ii- Daha büyük kapasiteli kablo hattı ve baz istasyonu kümeleri gerekmektedir. Bu da altyapı maliyetlerini arttırır.
- iii- Baz istasyonu için gerekli yerlerin şehir içindeki fiyatları pahalıdır.

Bu kısıtlamalar mikro hücre mühendisliğine çözülmesi kolay olmayan zorluklar getirmektedir. Bu nedenle mümkün olan maksimum spektral verimlilik için etkili kaynak kullanımı yönetimi gerekmektedir.

Mikro hücreler köşe etkisi adı verilen bir yayılma olayıyla karşılaşır. Köşe etkisi hareketli istasyonun bir cadde köşesini dönmesi sırasında 10-20 m mesafe içinde sinyal seviyesinde ani 10-20 dB civarında büyük düşüştür. Köşe etkisinin sebebi hizmet aldığı baz istasyonu arasındaki direkt görüşü kaybetmesidir. Köşe etkisi hızlı bir Ed ister ve sinyal kalitesi çok hızlı değişir. Alınan sinyal gücündeki bu değişiklik yukarı linki aşağı linke göre daha çok etkiler. Hareketli istasyondaki RSS köşeyi dönünce daha zayıflar. Yukarı link interferansı sabit kalırken aşağı link interferansı değişir. Potansiyel olarak daha zayıflar. Ölçme ortalama

aralığının köşe etkisi yüzünden fazla büyük olması istenmez. Hareket eden engellerin baz ve hareketli istasyon arasına girmesi bir köşe etkisine benzer.



Şekil 4.7 Mikro hücreli sistemde yarım kare hücre planı.

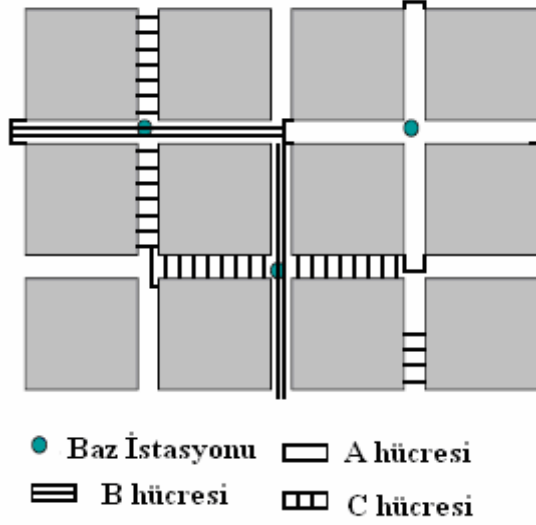
Bir mikro hücreli sistemde iki tip senaryo bulunmaktadır: Görüş mesafesinde olmak (LOS) ve görüş mesafesinde olmamak (NLOS). LOS Ed görüş mesafesindeki bir baz istasyonundan diğer görüş mesafesindeki baz istasyonuna geçmektir. NLOS Ed ise görüş mesafesinde olmayan bir bazdan görüş mesafesinde olmayan bir baza geçmektir. Bir LOS Ed de gereksiz Ed istekleri engellenmeli NLOS de ise köşe etkisi sebebiyle köşe dönerken Ed değiştirme mümkün olduğunca çabuk yapılmalıdır. Mikro hücrelerde NLOS ve LOS Ed istekleriyle başa çıkmanın yolları şemsiye hücre kullanma, makro-çeşitlilik ve hareketli istasyon kontrollü anahtarlama yapmaktır.

(Gudmunson,1992) Manhattan da şehir içi ortamda simetrik hücre yapılarını incelemiştir. Hücre planları SIR performansının yukarı ve aşağı linkte ileri derecede etkilemektedir. Simetrik hücre planları eşit uzaklıkta en yakın dört eş kanal baz istasyonuna sahiptir. Öyle ki hücre yapıları yarım kare, tam kare ve dikdörtgen olarak sınıflandırılabilirler.

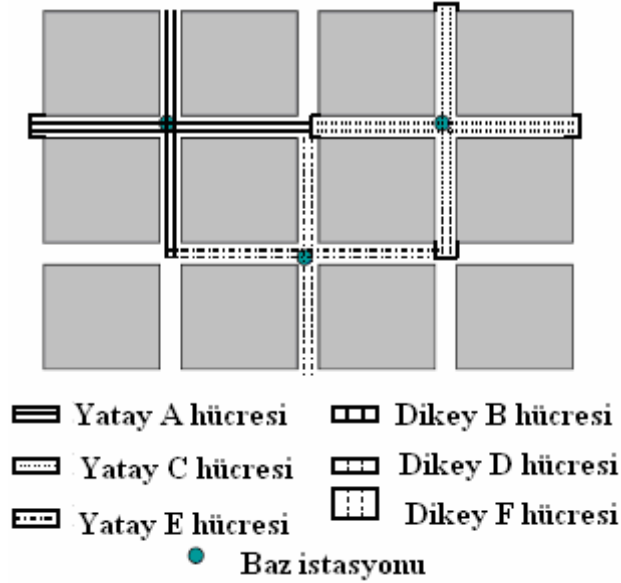
Hücre Planları

- **Yarım Kare Hücre Planı:** Bu hücre planı baz istasyonlarını omni-direkt antenlerle her bir cadde kesişimine yerleştirir ve her baz dört yönde yarım bloğu kapsar. Bu hücre planı köşe etkisinden etkilenmezken yüksek kapasite sağlar. Bu hücre yapısında yalnızca LOS Ed vardır. Şekil 4.7 'te basit bir yarım kare hücre mikro hücreli sistemi görülmektedir.

- **Tam Kare Hücre Planı:** Bir baz istasyonu ve bir omni-direkt anten her bir ayrı köşeye bütün bloğu dört yönde aydınlatmak üzere yerleştirilir. Bu planda köşe etkisiyle karşılaşma olasılığı bulunmaktadır. LOS ve NLOS Ed olabilir. Şekil 4.8 de tam kare hücre planı görülmektedir.
- **Dikdörtgen Hücre Planı:** Her bir baz istasyonu hücrenin merkezine yerleştirilir. Yatay veya dikey caddenin bir parçasını kapsar. Bu hücre planı ölçeklendirilebilir. Başlangıçta az baz istasyonu kullanarak kullanıcı yoğunluğuna göre yeni bazlar eklenir. Şekil 4.9 de dikdörtgen hücre planı görülebilir.



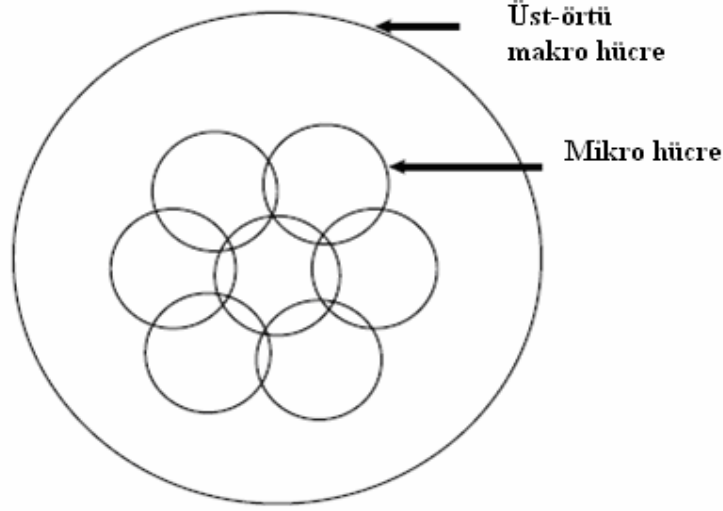
Şekil 4.8 Mikro hücresel sistemde tam kare hücre planı.



Şekil 4.9: Mikro hücresel sistemde dikdörtgen hücre planı.

4.3.3 Makro Hücre/Mikro Hücre Örtüleri

Mikro hücrelerdeki yüksek el değiştirme oranlarının sebepleri yüksek hızlı hareketli kullanıcılar ve bazı mikro hücrelerdeki bazı servislerin olmamasıdır. Bu problemleri azaltmak için karışık hücre mimarisi (üst-örtü veya alt-örtü) içeren geniş boyutlu makro hücreler (şemsiye ya da üst-örtü hücreler) ve küçük boyutlu mikro hücreler (alt-örtü hücreler) kullanılabilir. Şekil 4.10 bir üst-örtü sistemini göstermektedir.



Şekil 4.10 Bir Mikro/Makro Üst-örtü Sistemi.

Makro/mikro üst örtü mimarisi belirli sınırlar içerisinde hizmet verilebilen kullanıcı sayısını artırırken Ed ile ilgili ağ kontrolü için gereken işlem yükünü azaltır. Makro hücreler mikro hücrelerin ötesinde geniş kapsama alanı sağlarlar ve daha iyi hücreler arası Ed yi garanti ederler. Mikro hücreler frekansların tekrar kullanımını daha iyi sağlarlar ve yoğun yerlere hizmet vermek için daha iyi kapasite sunarlar. Yoğun çağrı trafiğinin olduğu yerlere örnek olarak havaalanları, istasyonlar ve araba park alanları verilebilir. Kalabalık olmayan yerlerde çağrı trafiği de az olacağından makro hücreler yeterli kapasiteyi ve servisi sağlar. Makro hücreler yüksek hızlı hareketli istasyonlara ve yeterli verici gücü ve kanalı sağlayamayan mikro hücrelerin kapsamadığı alanlara hizmet verirler. Ayrıca makro hücreler mikro hücrelerdeki kapasitenin yetmemesi durumunda buradan taşacak çağrılara da hizmet verirler. Üst-örtü /Alt-örtü sistemlerde en önemli konu makro ve mikro hücreler arasında optimum kanal dağılımının yapılmasıdır. Greenstein (1993) mümkün olan iki nokta arasındaki spektrumu paylaşmak için dört farklı yaklaşımı hesap eder. *Yaklaşım i:* Mikro hücreler için TDMA ve makro hücreler için CDMA kullanır. *Yaklaşım ii:* Mikro hücreler için CDMA, makro hücreler için TDMA sistem. *Yaklaşım iii:* Her ikisi için TDMA. *Yaklaşım iv:* her biri için ortogonal frekans kullanılır.

Üst-örtü/Alt-örtü sistemi saf mikro hücreli sistem üzerinde birçok avantaja sahiptir (Furukawa,1994).

- i. Baz istasyonları yalnızca trafik yükünün olduğu alanlarda ihtiyaç duyulur. Çünkü bütün servis alanını mikro hücrelerle kaplamaya gerek yoktur. Böylece altyapı maliyetleri azaltılır.
- ii. Üst-örtü sistemlerde Ed oranı daha azdır. Çünkü hızlı hareketli kullanıcılara makro hücreler servis verir.
- iii. Hareketli istasyondan arama ve yerinin belirlenmesi mikro hücreli sistemi kullanarak daha kolay yapılır. Sadece makro hücrenin olduğu durumlarda buna imkan olmamaktadır.

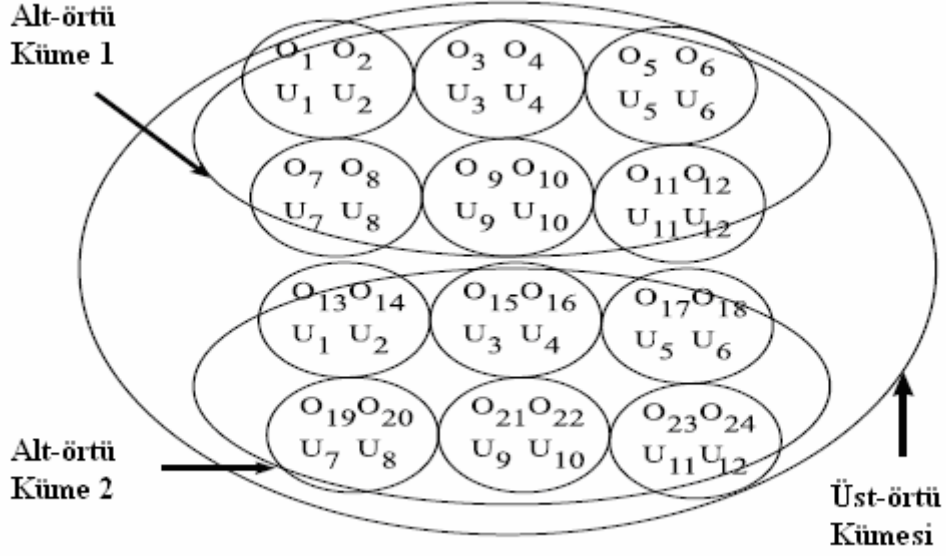
Şemsiye hücrelerin birçok sınıfı bulunmaktadır. Bir sınıfta ortogonal kanallar mikro ve makro hücreler arasında dağıtılır. Başka bir sınıfta mikro hücreler makro hücrelerin geçici olarak kullanmadığı kanalları kullanır. Başka bir sınıfta ise mikro hücreler makro hücrelerle aynı kanalları kullanırlar fakat interferansa sebebiyet vermemek için daha yüksek verici gücü kullanırlar. Üst-örtü/Alt-örtü sistemlerde dört farklı Ed tipiyle karşılaşılır: Mikro hücreden mikro hücreye, mikro hücreden makro hücreye, makro hücreden makro hücreye, makro hücreden mikro hücreye şeklinde.

Üst-örtü sistemlerde kullanıcı için uygun hücreye karar vermek için dwell zamanı (hücre içinde el değiştirme yapmadan çağrının devam edebileceği süre) ve kullanıcı hızının kestirimi gibi stratejiler geliştirilmiştir.

CDMA hücreli sistemi üst-örtü makro hücreli sistemi ile mikro hücre sistemi arasında kapasite kaybı olmadan bağlantı sağlayabilmektedir. (Shapira,1994)

4.3.4 Özel Hücre Mimarileri

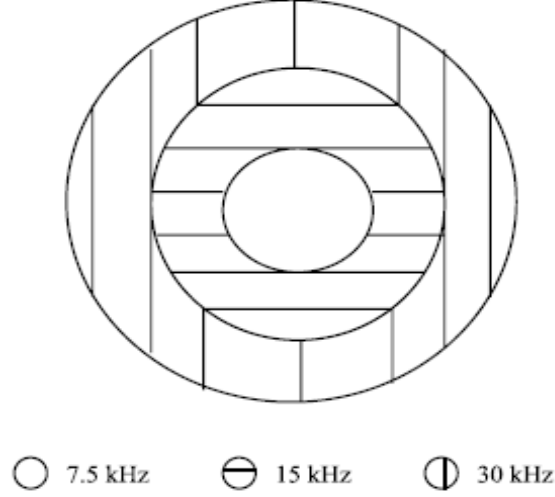
Alt yapıdaki maliyetleri arttırmadan spektral verimliliği arttırmaya çalışan birçok özel hücre alt yapısı bulunmaktadır. Önceki anlatılandan farklı bir alt-örtü/üst-örtü sistemi ve çoklu bant genişlikli sistem gibi bazılarına burada değinilecektir. Birçok hücreli sistemin daha önce anlatılan üst-örtü /alt-örtü sisteminden geliştiği düşünülür. Bu gelişim bu bölümde ele alınacaktır.



Şekil 4.11 Bir alt-örtü/üst-örtü sistemi.

Alt-örtü / Üst-örtü Sistemi

Bölüm 4.3.3 te anlatılanlardan farklı bir sistem burada incelenecektir. Alt-örtü /üst-örtü sisteminde makro ve mikro hücreler arasında frekans spektrumu bölünmüştür böylece makro hücreler hücresel sistem boyunca belirli kanalları kullanır. Ayrıca makro hücre tipik olarak ayrı baz istasyonu ve verici kulesi içerir. Fakat alt-örtü/üst-örtü sistemde dar aralıklı bir tekrar kullanım faktörü bir üst-örtüyle beraber kullanılmıştır. Örnek olarak 12 hücreli bir kümede 32 kanal olduğunu varsayarsak geleneksel alt-örtü/üst-örtü sistemde 12 mikro hücreli kümede bir hücre için 2 kanal kullanabilirken makro hücre kalan 12 kanallı küme bölgesi boyunca kullanır. Eğer düzgün trafik dağılımı varsayılırsa her hücre için efektif kanal sayısı halen 3 olacaktır (iki mikro hücreden, bir makro hücreden). Diğer taraftan alt-örtü/üst-örtü sisteminde ki bir düzenlemede şekil 4.11 de gösterildiği gibi iki tekrar kullanım faktörü 12 ve 6 yalnızca bir tekrar kullanım faktörü yerine kullanılacaktır. 12 hücreli kümede her hücre için iki kanal kullanılacaktır (kanal Q_1 den kanal Q_{24} e kadar) kalan 12 kanal tekrar kullanım faktörü 6 kullanılarak dağıtılır. (U_1 - U_{12} arası kanallar) Böylece tek bir üst-örtü küme iki alt-örtü küme olacaktır ve her alt-örtü küme 6 tekrar kullanım faktörüne sahip olacaktır.



Şekil 4.12 Bir çoklu-kanal bant genişliği sistemi.

Bu sebepten dolayı efektif olarak alt-örtü/üst-örtü sisteminde hücre başına 4 kanal düşerken alt-örtü/üst-örtü olmayan sistemde 3 kanal düşmektedir. Kapasitede daha fazla artırıma gitmek için daha sık olan tekrar kullanım faktörü 3 alt-örtüde kullanılabilir. Üst-örtü kümeleri hücre başına 2 kanal kullanırken alt-örtü kümeleri her hücre başına 4 kanal kullanır. Böylece efektif olarak hücre başına 6 kanal mümkün olacaktır. Alt-örtü/üst-örtü planı alt yapı maliyeti olmadan aynı donanım ile kapasiteyi arttırabilir.

Çoklu Kanal Bant-Genişliği Sistemi

Çoklu kanal bant-genişliği hücre içinde spektral etkinliği arttırmak için kullanılabilir. Çoklu kanal bant-genişliği sisteminde (MCBS) bir hücre değişik bant genişlikli kanallardan oluşan halka şeklinde iki veya üç bölgeden oluşur. Şekil 4.12 bir MCBS yi gösterir.

30 kHz i sinyal için normal bant-genişliği kabul edersek üç halkalı MCBS için en dıştaki halka için 30 kHz 'lik, ortadaki halka için 15 kHz, en içteki halka içinde 7.5 kHz 'lik bir kanal kullanılabilir. Bu halkaların alanları beklenen trafik durumlarına göre belirlenebilir. Yani bütün hücre boyunca 30 kHz lik kanal kullanılacağına farklı bant genişliklerindeki kanallar kullanarak hücre içindeki kanal sayısı arttırılabilir. MCBS aslında aynı ses kalitesi için daha dar bir bant kullanmak yerine daha az (C/I) oranına sahip geniş bant-genişlikli bir kanal kullanır. Örnek olarak 30 kHz ,15 kHz ve 7.5 kHz için gereken C/I oranları sırasıyla 18dB, 24dB ve 30 dB dir (Lee,1993). Eğer bütün bant genişlikleri için hücrede yayılan güç aynıysa geniş bant kanalları daha geniş bir hücreye hizmet verebilir. Bu sırada daha dar bir kanal görece küçük bir hücreye yayın yapabilir. Bunun yanında geniş kanal daha yüksek CCI seviyesine tolerans gösterebildiğinden daha küçük bir D/R oranını (eş kanal mesafesinin hücre

yarıçapına oranı) karşılayabilir. Yani MCBS de çoklu-bant-genişlikli sinyaller sebebiyle daha fazla kanal mümkün olmaktadır. Farklı C/I ihtiyaçları sebebiyle belirli servis bölgesinde frekans daha sık tekrar kullanılabilir.

Yenilikçi Mimari

Mevcut hücresel sistemler artan servis ihtiyacıyla başa çıkabilmek için geniş hücre boyutundan küçük hücre boyutuna doğru gelişmektedirler. Bu gelişim üç farklı tipte incelenebilir: (i) Katmansız makro hücreli mimari , (ii) katmanlı makro hücreli ve orta büyüklükteki mikro hücrelerden oluşan mimari, (iii) makro hücreli ve küçük mikro hücrelerden oluşan mimari.

4.3.5 Kablosuz Entegre Sistemler

Kablosuz entegre sistemlere, entegre kablosuz ve hücresel sistemler, entegre hücresel sistemler ve entegre karasal ve uydu sistemleri örnek olarak verilebilirler. Entegre sistemler ayrık sistemlerin özelliklerini birleştirerek gelişmiş mobilite, düşük maliyet gibi ulaşılmak istenen hedefleri gerçekleştirirler.

Karasal Entegre Sistemler

Karasal sistemler arası Ed iki hücresel sistem veya bir hücresel ve bir kablosuz telefon sistemi arasında gerçekleşebilir. Makro hücrelerdeki CDMA, GSM-DECT i kapsayan Ed ve mikro hücrelerdeki TDMA Ed bu tip sistemler arası el değiştirmeye örnek teşkil ederler.

Bir MSC tarafından kontrol edilen hücresel sistemde başlayan bir çağrı başka bir MSC 'nin kontrol ettiği hücresel sisteme geçtiği takdirde sistemler arası Ed çağrısı devam ettirmek için gereklidir. Bu durumda bir MSC diğerinden çağrısı devam ettirmesi için istekte bulunur. MSC 'nin sistemler arası Ed gerçekleştirebilmesi için gerekli yazılıma ihtiyacı vardır ve MSC' ler arasında uyumluluk göz önünde bulundurulmalıdır.

Sistemler arası el değiştirmenin birçok sonucu bulunmaktadır (Lee,1998):

- i. Hareketli istasyon roamer olduğunda uzak mesafe çağrıları yerel çağrılara dönüşür.
- ii. Bir roamer yerel hareketli olduğunda uzak mesafe çağrıları yerel çağrılara dönüşür.
- iii. Yerel bir hareketli istasyon roamer olduğunda yerel çağrılar uzak mesafe çağrıları olur.
- iv. Bir roamer yerel hareketli olurken yerel çağrı uzak mesafe çağrı olur.

GSM ve DECT gibi benzer olmayan sistemler arasında portatif servise doğru giden bir gelişme bulunmaktadır. Örnek olarak kablosuz telefon ve hücresel sistem arasında bir Ed nin olması güzel bir gelişme olacaktır. Bu tip senaryolar için Ed algoritmaları önemli bir

araştırma alanıdır. Çalışmalar sonucunda GSM ve DECT sistemi arasındaki Ed için küçük ayarlamaların yeterli olabileceği görülmektedir.

Karasal ve Uydusal Entegre Sistemler

Bir entegre hücresel/uydu sisteminde uydu ve hücresel sistemin avantajları birleştirilebilir. Uydular geniş bir kapsama alanı, hızlı iletişim ve ek kapasite sağlayabilir. Hücresel sistem yüksek kapasiteli ekonomik bir sistem sağlayabilir. Özellikle GSM üreticileri uygulamalarını entegre sistemler için gözden geçirmektedir.

Gelişen geleneksel hareketli telekomünikasyon sistemi kişiye elindeki cihazla dünyanın her yerinde kişisel bir telefon sistemini sağlayabilmektedir. İleride hareketli sistemin alçak yörünge (LEO) ve geostasyoner yörünge (GEO) uydularında karasal sistemle beraber kapsaması planlanmaktadır. Hareketli istasyon karasal kapsama alanındayken baz istasyonunun uyduyla arada röle istasyon görevi yapması karasal kapsama alanı dışındayken hareketli istasyonun direkt uyduyla bağlantıya geçmesi planlanmaktadır.

Entegre sistemlerdeki iki farklı el değiştirme senaryosu aşağıda anlatılmıştır.

Hareketli Uydu Sistemden Karasal Sisteme

Hareketli istasyon çalışırken uydu linkini gözetler ve link performansını hesap eder. Alınan sinyal güçleri 30 saniyelik süreler boyunca ortalama alınarak sinyal gücü değişimleri minimize edilir. Eğer RSS belirli bir eşiğin altında art arda N kez düşerse (örneğin $N=3$) hareketli istasyon karasal sistemden gelen sinyali ölçmeye başlar. Eğer karasal sistemden gelen sinyal daha kuvvetliyse oraya Ed yapılır.

Karasal Sistemden Hareketli Uydu Sisteme

Hareketli istasyon karasal sistemden servis alırken baz istasyon doğrulama sinyallerini belirli aralıklarda göndererek hareketli istasyon kapsama alanını içinde olduğunu garanti eder. Eğer doğrulama sinyalleri baz istasyonu tarafından N kere art arda alınmazsa karasal hareketli sisteme Ed yapılır.

Hiyerarşik örtü sistemlerde en düşük seviyede mikro hücre, orta seviyede mikro hücreleri kapsayan makro hücreler ve en üst seviyede makro hücreleri örten uydu kapsama alanı yer almaktadır. Bu yapıda yalnızca uydu ve uydu/hücre abone tipleri bulunur. Yalnızca uyduya abone olan kullanıcılar sadece uydunun kapsama alanlarında uydudan çağrı alırken ikisine de abone olanlar karasal sistemin olduğu yerlerde karasal sistemden taşma olursa ise uydu sisteminden servis alırlar.

4.4 El Değişirme Kriterleri

El değişirme algoritmaları için birçok değişken öne sürülmüş ve bunlar girdi veya el değişirme kriteri olarak kullanılmıştır.

Alınan Sinyal Kuvveti (RSS)

Bu kriter basit, direkt ve çok sık kullanılır. Birçok sistem interferans limitlidir. Bunun anlamı sinyal kuvveti sinyal kalitesini yeterli derecede göstermesidir ve bu sinyal gücü temelli karar verme mekanizmaları için motivasyon olmuştur. Bunun yanında RSS ve baz-hareketli istasyon arası mesafe arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. CCI 'nın dahil edilmemesi bu kriterin dezavantajıdır. CCI mikro hücrelerde makro hücrelerden daha önemlidir. Çünkü mikro hücreler interferans limitli makro hücreler ise gürültü limitlidir. Bunun yanında birçok faktör (örneğin topoğrafik değişiklikler, binaların gölgeleme etkisi ve çoklu yol zayıflaması) istenilen alandan daha farklı bir kapsama alanına sahip olunmasına sebep olur. RSS kriteri aşırı Ed sayısına sebep olabilir.

Sinyal-İnterferans Oranı (SIR)

SIR yada (C/I) kullanmanın avantajı SIR 'ın ses kalitesi, sistem kapasitesi ve kayıp çağrı kapasitesi için genel bir parametre olmasıdır. BER sıklıkla SIR 'ı hesap etmek için kullanılır. Gerçek (C/I) oranı istenen (C/I) oranından daha küçük olması durumunda, ses kalitesi daha zayıf olur ve kayıp çağrı oranı artar. SIR ayrıca tekrar kullanım alanını da belirler. Maalesef CIR yayılma şartlarından dolayı osilasyon yapar ve pin-pon etkisine sebep olur. BER 'in link kalitesi açısından iyi bir indikatör olmasına rağmen hizmet veren baz istasyonu yanında kötü link kalitesi gösterebilir. Ed böyle durumlarda istenmez. Bir interferans limitli çevrede BER deki bozulma bir hücreler arası Ed gerektirmeyip hücre içi Ed yi yeterli kılar

Cornett (1991) Rayleigh zayıflama kanalı üzerindeki ham kanal BER 'i hesap etmek için 2 metot sunmuştur. İlkinde önceden seçilmiş pseudo-noise (PN) dizisini çerçeve senkronizasyon paterni olarak kullanmaktadır. Karar değişkeni orijinal PN ile bozuk PN kanalının özilişkisi bulunarak hesaplanır. İkince metot çözümlemeden önce alınan kelimelerdeki hata sayısını hesaplamak için Reed-solomon temelli sistemde sınırlı mesafe çözümlerinin kullanıldığı varsayar. Kanal ait SER, ham kanala ait BER ve çözücü sonrası-BER bulunur.

Lau(1992) BER i hücrel ve karasal sistemden oluşan entegre bir sistem için bir Ed kriteri olarak önerir. Seviye Geçiş Oranı (LCR) Rayleigh zayıflamalı sinyallerin zarfının belirli bir sinyal seviyesini pozitif eğimde geçme oranını tanımlar. LCR ortalama sinyal gücünü

belirlemek için kullanılır. Ortalama sinyal seviyesinden veri iletimi için kullanılan modülasyon planına bağlı BER hesap edilir.

Mesafe

Bu kriter planlanan hücre sınırını muhafaza etme için yardımcıdır. Mesafe sinyal gücü ölçümleriyle hesap edilebilir (Hata,1980). Bunun için farklı bazlardan gelen sinyal gecikmeleri vb. kullanılır. Mesafe ölçümleri Ed performansını arttırabilir. Eğer Ed iki bazın orta noktasında gerçekleşirse kanal kullanımını eşit dağıtmış olur(Berg,1992). Mesafe ölçümü özel teknik ekipman ve sistemde genel bir saatin olmasını gerektirir. Baz istasyonları arası senkronizasyon ayrıca gereklidir. Mesafe kriteri makro hücreler içinde daha kolay kullanılabilir fakat mikro hücreler için daha zordur. Çünkü küçük hücrelerde mesafe ölçümünün doğruluğu azalır. Hücre sınırlarını kararlaştırabilme gereksiz el değiştirmeleri önler. Hareketli istasyonun uzaklığına ve konumuna bağlı olarak karar veren Ed algoritmaları ile aday baz istasyonları tahmin eden çalışmalar bulunmaktadır.(Morkopoulos,2003). Wang (2001) mesafeyi hücreleri parçalara bölüp buradaki ortalama sinyal seviyelerinden yararlanarak hesaplamış ve bunu Ed algoritmasında kriter olarak kullanmıştır.

Yayılan Güç

Yayılan güç, güç gereksinimi, interferans azatılımı ve pil ömrünün arttırılması için Ed kriteri olarak kullanılabilir.

Trafik

Trafik seviyesi Ed kriteri olarak komşu hücrelerde trafik dengesini sağlar. Dwell zamanlarının bilinmesi teletrafik performansının hesaplanması için önemlidir.

Çağrı ve El Değiştirme İstatistikleri:

Hücre içinde çağrı sırasında toplam harcanan süre Ed kriteri olarak kullanılabilir. Ayrıca son el değiştirmeden sonra geçen süre Ed sayısını azaltmak için yararlı bir veridir.

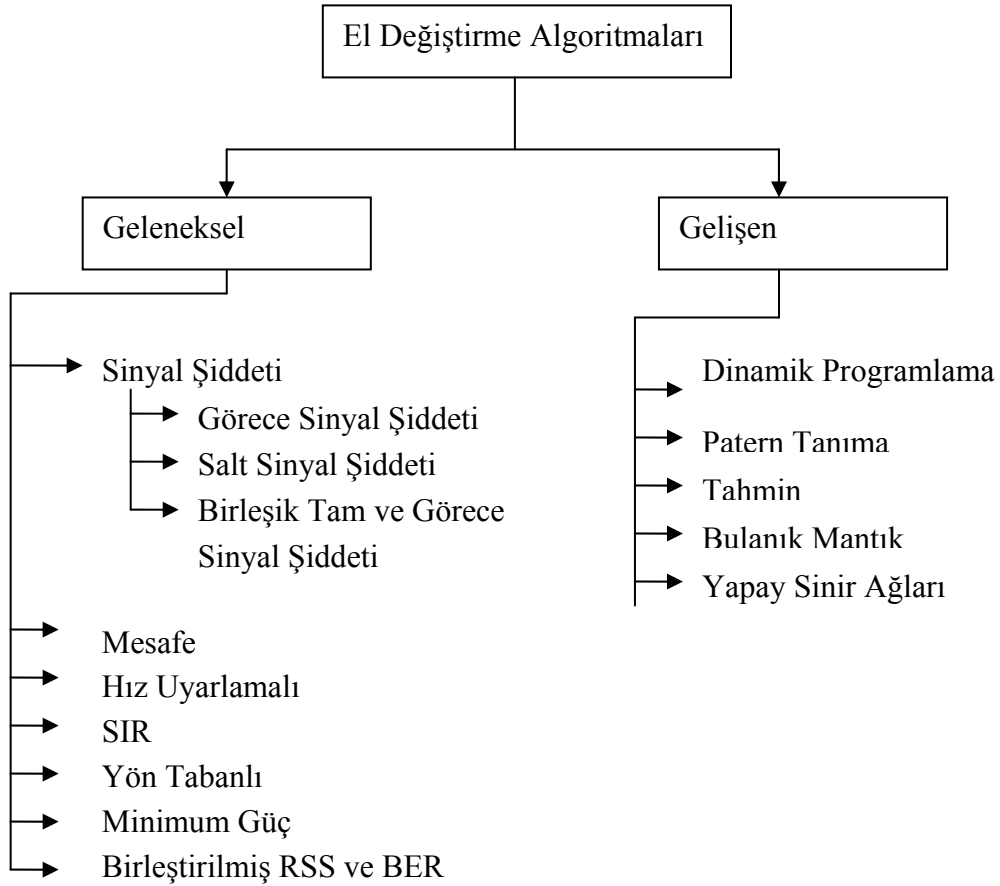
Hız

Hız özellikle örtü sistemleri ve hız uyumlu algoritmalar için önemli bir Ed kriteridir. Birçok algoritma Ed parametrelerini değiştirebilmek için hız hesaplamayı kullanırlar. Holtzman (1995) Ed algoritmasındaki ortalama aralığını küçük ve geniş hücreler için uyumlu olarak değiştiren bir metot sunulmuştur. Bu metot, maksimum Doppler frekansı f_D aracılığıyla hareketli istasyon hızını tahmin etme üzerine oturtulmuştur. Bu çalışma ayrıca Rayleigh ve Rician zayıflama ortamlarında f_D 'yi sinyal zarfının karesel sapmasından elde edebilecek bir

metotla bulmuştur. Optimal ortalama için ayrıca bir adaptif taslak öne sürülmüştür. f_D yi önceden hesaplamaya çalışan metotlar şu kriteri kullanmaktadırlar: Hareketli istasyon hızı, seviye geçişi, spektrum veya özilişki analizi, genlik ölçümlerinin logaritmik sıkıştırılmış zarfının karesel sapması. Holtzman son yaklaşımı kullanılır. Ortalama aralığının etkileri, CCI ve f_D üzerindeki AWGN(beyaz gauss gürültüsü) hesaplaması analiz edilmiştir. f_D kestirimi bir Ed algoritmasında eksponensiyel ortalamanın ağırlık faktörlerini değiştirmek için kullanılabilir. Tripathi (1999) değişen hızı kriter olarak kullanan bulanık mantık algoritması öne sürmüştür.

4.5 Geleneksel El Değiştirme Algoritmaları

El değiştirme algoritmaları iki durumda birbirinden ayrılır. Ed kriteri ve Ed kriterlerinin işlenmesi. Geleneksel Ed algoritmaları burada anlatırken gelişen Ed algoritmaları “4.6” da anlatılmıştır. “Şekil 4.13” farklı tipteki Ed algoritmalarını özetler.



Şekil 4.13:El değiştirme Algoritmaları.

4.5.1 Sinyal Gücü Tabanlı Algoritmalar

Birçok çeşit sinyal gücü tabanlı algoritmaları bulunmaktadır: Görece sinyal gücü algoritmaları, tam sinyal gücü algoritmaları ve birleştirilmiş görece ve tam algoritmalar. Aşağıda bu algoritmalar kısaca açıklanacaktır.

Görece Sinyal Gücü Algoritmaları

Görece sinyal gücü algoritmalarında hareketli istasyon en güçlü sinyal aldığı baz istasyona bağlanır. Güçlü sinyal seviyesi alınan baza bağlanmak avantaj olmasına karşın gölge sönümlleme değişimlerinden kaynaklanan yüksek Ed oranı dezavantajdır. Birçok mevcut sistemde belirli bir seviye aşılmadıkça alan ölçümü yapılmaz. Bu işlem yükünün azalması için bir avantaj sağlar. Fakat dezavantajı ise hareketli istasyon sinyal seviyesinin üzerindeki eşik geçilmedikçe hücre sınırı aşılsa dahi Ed yapmaz. Bu algoritmalar bir histeresizle beraber kullanılırlar öyle ki bir baz istasyonundan diğerine ancak belirtilen histeresiz geçildikten sonra Ed yapılır. Kuzey Amerika Kişisel Erişim Sistemi (PACS) 'ın bu histeresiz bir dwell zamanlayıcıyla birleştirir. Histeresiz Ed sayısını düşürür fakat çağrı kayıplarını Ed de gecikme yaratarak arttırabilir. Ed sayısı ve Ed gecikme arasındaki denge uygun histeresiz ve sinyal seviyesi ortalamasını belirlemeyi gerektirir.

Gölge sönümlleme standart sapması ortama bağlı olarak sıfır beklendik değerli (ortalama) Gauss dağılımı olarak tanımlanır. Hareketli istasyondaki RSS 'in karesel sapmalarına dayanan gölge sönümlemesinin standart sapmasının ölçülmesine ilişkin bir yöntem Referans (Sampath,1994)' de verilmiştir. Optimum Ed parametrelerin gölge sönümlemenin standart sapmasına çok duyarlı oldukları gösterilmiştir. Doğruluğu arttırmak için daha çok ortalama daha küçük histeresiz almak gerekir. Fakat sinyal seviyesindeki ani değişiklikleri saptamak için (örneğin köşe etkisi) daha az ortalama ve daha büyük histeresiz gereklidir. Bu çelişkiyi önlemek için gölge sönümlemesinin sapması hesaplanır ve kullanılır.

Eğer ortalama aralığı çok kısaysa sönümlmeden kaynaklanan dalgalanmaları büyüktür. Eğer çok uzunsa da Ed gecikmesi artar. Bu sebeple uyarlanabilir ortalama aralığı almak önemlidir. Zamanla değişen Rayleigh zayıflamasının şiddeti maksimum Doppler frekansının hareketli istasyon hızına oranına bağlıdır. Böylece bir ortalama aralığı maksimum Doppler frekansına dayandırılabilir. Holtzman (1995) Rayleigh zayıflamasından yararlanarak maksimum Doppler frekansı aracılığıyla uyumlu ortalama karar verilir. Dassanayake (1994) hücre yayılma ortamında sinyal gücünün varyansı tanımlar ve sinyal ortalama zamanı ve histeresiz gibi Ed parametrelerinin üzerindeki etkilerini sunarlar.

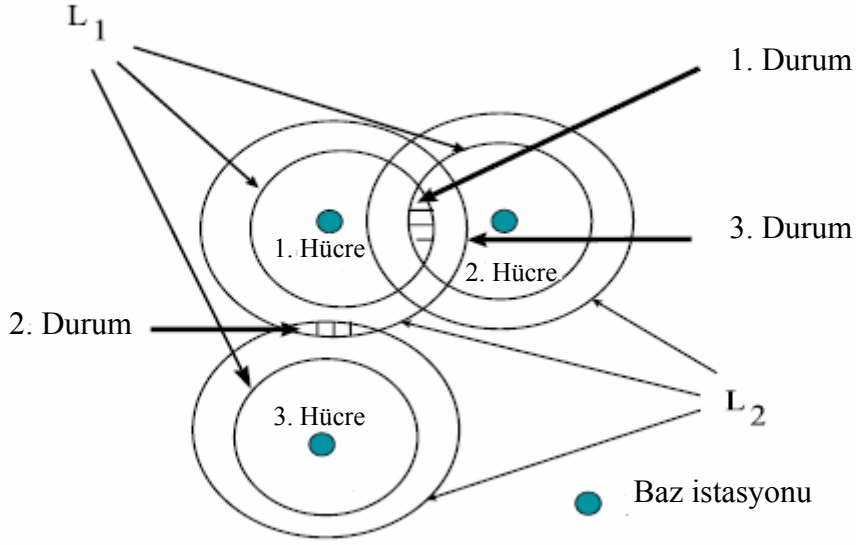
Bir mikro hücreli ortamda büyük histeresiz hareketli istasyon ve baz arasında direkt görüşün (LOS) olduğu durumda Ed de pin-pon etkisini azaltırken direkt görüşün olmadığı (NLOS) durumda el değiştirmede gecikmeye sebep olur (Pollini,1996). Şemsiye hücre yaklaşımı mevcut sistemlerle uyumluluk sağlar.

Salt Sinyal Gücü Algoritmaları

Bu algoritmada RSS belirli bir eşik seviyesinin altına düştüğünde Ed isteği üretilir. Tipik eşik değerleri gürültü-limitli sistemde -100dBm ve interferans limitli sistemde -95dBm 'dir (Lee,1998). Daha iyi Ed başlatışı eşik seviyesi değiştirilerek elde edilebilir. Eşik seviyesi RSS 'in yol kaybı eğimi L ve RSS 'in seviye geçiş oranına (LCR) göre değişmelidir. Eğer eğim L yüksek veya LCR yüksekse hareketli istasyon hızlıca baz istasyonundan uzaklaşıyordur. Bu yüzden Ed hızlı olmalıdır(Bu durumda eşik seviyesi yüksek olmalıdır.).Eğer eğim L ya da LCR düşükse hareketli istasyon yavaş hareket ediyor demektir. Bu yüzden Ed yavaş olabilir. Ed başlama eşiği göreceli olarak daha küçük olabilir. Yani hareketli istasyon hızı ve yol kaybı eğimi L el değiştirme başlatış eşiğini dinamik olarak belirlemede kullanılabilir. Öyle ki gereksiz Ed minimize edilirken gereken Ed 'ler başarılı şekilde tamamlanır.

Bu algoritma ciddi bir dezavantaja sahiptir. Ne zaman eşik seviyesi RSS tabanlı ayarlanırsa şu durumlar oluşur (Lee,1998):(i)RSS yüksek interferans sebebiyle yüksek değerler alıyorsa, ideal olarak yüksek interferanstan kurtulmak için Ed yapılması gerekirken Ed yapılmayacaktır. (ii) RSS düşükken ses kalitesi iyi olsa bile Ed yapılacaktır halbuki böyle bir Ed istenmez. Bazı sistemler yönetici ses tonu (SAT) adını verdikleri bir standart kullanarak bu tip Ed 'den kurtulurlar.

İki seviyeli algoritma başarılı Ed için daha çok olanak sağlayan basit bir eşik algoritmasının çeşididir. İki Ed eşiği, L_1 ve L_2 şekil 4.14 de olduğu gibi $L_1 > L_2$ olarak tanımlanır. RSS seviyesinin L_1 'in altına düşmesi sonucu bir Ed isteği başlatılır. Eğer hareketli istasyon içinde bulunduğu hücrede bir sinyal boşluğuna denk gelirse veya Ed yapacağı hücre meşgulse Ed olasılığı değerlendirilmelidir. Böyle durumlarda Ed periyodik olarak istenir (Örneğin her 5sn de bir). Ed isteği yalnızca yeni RSS daha güçlüyse kabul edilecektir.(Şekil 4.14 deki durum-1) Eğer RSS L_2 ye ulaşırsa Ed aday baz istasyonunun sinyal gücüne bakılmadan gerçekleşir (Şekil 4.14 durum 2).İki seviyeli algoritma sebebiyle hareketli istasyon sinyal boşluğundan çıkabilir veya aday baz istasyonu L_1 ve L_2 arası Ed için bir boş kanal bulundurabilir. Eğer tek bir eşik seviyesi L_2 kullanılsaydı L_2 sınırı aday baz istasyonuna yakın olabilir ve interferansa sebebiyet verebilirdi(Durum 3). Fakat iki seviyeli algoritmada L_1 sınırı Ed 'nin erken olmasını sağlayarak interferansı azaltır.



Şekil 4.14 İki Seviyeli El Değiştirme Algoritması.

Birleştirilmiş Salt ve Göreceli Sinyal Gücü Algoritması

Algoritmaya göre Ed takip eden iki şart sağlanırsa gerçekleşir: Hizmet veren bazın ortalama sinyal seviyesi kesin bir T (dB) eşiğinin altına düştüğünde ve aday baz istasyonunun sinyal seviyesi şu anki sinyal seviyesini h (histeresiz-dB) kadar geçtiğinde Ed gerçekleşir. İlk şart sinyal seviyesinin yeterli olduğu durumda Ed yapılmasın önler. Optimum eşiğin bulunmasıyla dar bir Ed alanında bile en az Ed sayısının sağlanması mümkündür. Bu algoritma için basit değişkenler ortalama penceresinin büyüklüğü ve şekli, eşik seviyesi ve histeresiz marjıdır.

Ransom(1995) 'in bu algoritma için çıkarımlardan bazıları şunlardır.

- i. El değiştirmenin yapılacağı aday bir kanal bulamama olasılığı azalırken üst üste binen bölge artmaktadır.
- ii. El değiştirme eşiği artarken bir Ed adayının bulunmama olasılığı artar.
- iii. El değiştirme eşiği artarken geç Ed olasılığı azalır.
- iv. El değiştirme eşiği artarken gereksiz Ed olasılığı da artar (pin pon etkisi).
- v. Histeresiz yükselirken gereksiz Ed olasılığı azalır.

4.5.2 Mesafe Temelli Algoritmalar

Bu algoritma hareketli istasyonu en yakın baz istasyonuna bağlar. Göreceli mesafe ölçümleri yayılım gecikmelerini karşılaştırarak bulunur. Bu kriter Ed nin planlanan hücre sınırlarında yapılmasını sağlayarak, sinyal seviyesi kriterine göre daha iyi bir spektrum verimliliği sağlar. Fakat mikro hücresel sistemdeki karmaşık yayılma özelliklerinden dolayı hücre sınırlarının planlaması zordur. Bu nedenle küçük hücrelerdeki mesafe ölçümü tam doğru olmadığından bu sistemin sinyal ölçmeye göre üstünlüğü kaybolmaktadır. Görece sinyal tabanlı algoritma görece mesafe bazlı algoritmayla karşılaştırınca daha az interferans olasılığı oluşturduğu görülür. Özellikle hareketli istasyon ile baz istasyon arasında LOS bir yol varsa bu baz istasyonu yakınındaki NLOS baz istasyonundan daha güçlü sinyal sağlar. Bu durumda görece sinyal gücü kriteri mesafe kriterine göre interferans yönünden daha avantajlıdır. Hücreleri parçalara ayırarak bu parçalarda ölçülen ortalama sinyal değerlerine göre hücre içindeki hareketli istasyonun yeri ölçülüp Ed algoritmasına girdi olarak kullanan algoritmalar mevcuttur.(Wang,2001). Morkopoulos (2003) mevcut sisteme eklenecek bileşenlerle konum destekli el değiştirme algoritmaları kullanmış ve hareketli istasyonun hareket güzergahını tahmin edip el değiştirme yapılacak en uygun bazın seçimini yapan yöntemle performans artışı elde etmiştir. Suleesathira ve Kunarak(2005) ön zamanlama kullanarak yüksek irtifa platformu istasyonu hücresel sisteminde mesafe ölçümü yaparak Ed algoritması kriteri olarak kullanmıştır.

4.5.3 SIR Tabanlı Algoritma

Ses kalitesi açısından hücre sınırlarındaki SIR görece yüksek olmalıdır.(Örneğin AMPS için 18 dB ve GSM için 12 dB) fakat daha düşük SIR kapasite nedeniyle kullanılabilir. Çünkü eş kanal mesafesi ve küme boyutu (kluster başına çağrı sayısı) daha düşük SIR için küçüktür ve kanallar belirli coğrafik bölgelerde daha sık tekrar kullanılabilir(Lee,1998). SIR haberleşme kalitesinin ölçümüdür. Bu algoritma mevcut bazın SIR 'ı belirlenen bir eşiğin altına düşmesi ve diğer bazın yeterli SIR sağlaması durumunda Ed yapar. Histeresiz algoritmada yer alabilir. Daha düşük SIR yüksek interferans ve düşük taşıyıcı gücünden kaynaklanabilir. Her iki durumda da el değiştirme SIR düştüğünde istenen bir durumdur. Fakat SIR tabanlı algoritmalar nominal hücre sınırlarında Ed yapmayı önleyerek hücre-sürüklenmesine sebep olurlar ve bu da yüksek güç yayılımını gerektirir (Chuah,1995). Analog sistemlerde bir çağrı sırasında SIR ölçümü zordur. Bu yüzden bazen interferans gücü çağrı bağlanmadan önce ölçülür ve birleşik sinyal ve interferans gücü ise çağrı sırasında ölçülür.(Chuah,1995) güç kontrollü sistem için yukarı kanal SIR tabanlı bir algoritma önermiştir. Her kullanıcı hedef

SIR eşiğini gerçekleştirmeye çalışır. Kullanıcının SIR değeri belirli bir eşiğin altına indiğinde el değiştirme yapılır.

4.5.4 Hız Uyumlu Algoritma

Hızlı cihazdan gelen el değiştirme isteği hızlıca işlenmelidir. Kısa değişken ortalama pencerelerine sahip bir Ed algoritması hızlı kullanıcılarla başa çıkmak için kullanılabilir. Fakat “kısa” ortalama penceresi kavramı hareketli istasyon hızıyla ilgilidir. Bir hızdaki optimum Ed performansı ortalama penceresinin sabit tutulmasına bağlıdır. Hız uyumlu Ed algoritması pencere uzunluğunu farklı hızlar için ayarlayabildiğinde iyi performans sağlar. Hızlı kullanıcılarla başa çıkmak için hız uyumlu Ed algoritması şemsiye hücre yaklaşımına alternatif olarak eğer ağ gecikmesini küçük tutabilirse kullanılabilir. Gecikmenin kısa tutulabilmesi alt yapıdan tasarruf etmeyi sağlar. Hız hesaplama tekniklerinden biride RSS ‘in Rayleigh dağılımıyla aynı değere sahip seviye geçiş oranı (LCR) kullanmaktır. Bu yayılma bağlı ortamlarda alınan gücü elde etmek için özel cihazlar gerekir. Referans Kawabata(1994) hızın Doppler frekansına olan oranına bağlı Rayleigh zayıflama kanalına dayanan hız hesaplama yöntemiyle ilgili bir teknik sunmaktadır.

Austin(1994) mikro hücreler için bir hız uyumlu Ed algoritması tanımlanmış ve yerel ortalama için gereken ortalama boşluğu incelenmiştir. Hız hesaplama için üç metot analiz edilmiştir. Seviye geçiş oranı metodu, sıfır-geçiş oranı metodu ve kovaryans yakınsaması metodu. Rice faktörü, izotropik olmayan saçılma ve ek gauss gürültüsüne olan algoritma duyarlılıkları incelenmiştir. Sinyal istatistikleri hesaplanmıştır: Rice faktörü K ya bağlılığın doğruluğu ortalama mesafesi ve hareketli istasyonun yöne olan açısı θ .Zayıflamanın etkilerini yeterli derecede azaltmak için gereken uzaysal boşluğun K ve θ ya bağlı olduğu ispatlanmıştır.Örnek otalaması için örnek aralığı 0.5λ ‘dan (yarım dalga boyundan) küçük olmalıdır.Genellikle uzaysal ortalama mesafesinin 20λ dan 40λ ‘ ya kadar tanımlanması mikro hücreler için yeterlidir. Hız uyumlu Ed algoritması geçici ortalama pencerelerini örnekleme periyodunu sabit tutarak ve örnek sayısını ayarlayarak veya tersini yaparak adaptasyon sağlar.

Hız değişimlerini eşik seviyesinin tespitinde kullanan birçok algoritma tasarlanmıştır. (Yang,2005) (Kim,2004)(Tripathi,1999,1998)

4.5.5 Yön Ön Koşullu Algoritmalar

Baz istasyonuyla hareketli istasyonun arasında direkt görüşün olmadığı durumlarda el değiştirme sırasında daha önce değinildiği gibi hareketli istasyon köşe etkisiyle karşılaşır. Bu yüzden eğer hareketli istasyon hızlı hareket ederken yeterince hızlı Ed yapmazsa çağrı kaybolur. Hızlı araçları şemsiye hücreye bağlamak veya daha iyi Ed algoritmaları kullanmak

çözüm olabilir. Yön ön koşullu el değiştirme algoritmaları alternatif bir çözüm sunar. Bu tip algoritmalar hücre üyelik özelliklerini artırır ve çok hücreli çevrede LOS ve NLOS senaryolarda Ed performansını artırır. Ed algoritmasının iyi bir hücre üyeliği özelliğine sahip olduğunu söylemek için hareketli istasyonun en yakın baza atanma olasılığının çağrı boyunca bire yakın olması gerekir. Hücre üyeliklerinde ki gelişmeler daha az Ed ve azaltılmış interferans anlamına gelir.

Bu algoritmanın altındaki temel düşünce baz istasyonu doğru gelen hareketli istasyonu el değiştirmesi teşvik edilirken uzaklaşanların ki teşvik edilmez. Bu algoritma yumuşak el değiştirmede birden fazla baz istasyonuna kalma süresini azaltır

Basit yön koşullu algoritmanın bir çeşidi ön seçimli yön ön koşullu algoritmadır. Eğer en iyi baz istasyonu kendisinden uzaklaşan baz olup hareketli istasyonun yolu üzerindeki en iyi sinyal kalitesini sağlayan bazdan daha iyi sinyal seviyesine sahip olsa da Ed ikinci baza yapılmalıdır. Çünkü bazın sinyal kalitesinin artma şansı olduğundan seçilme ihtimalide artacaktır. Bu hızlı Ed algoritması ve iyi hücre üyeliği özelliği sağlarken geniş histeresizin getirdiği istenmeyen etkileri içermez .(Austin,1994) Suleesathira ve Kunarak(2005) hareket yönünü Çoklu Sinyal Sınıflama(MUSIC) algoritmasına dayanarak hareketli istasyon yön bilgisini kriterlerden biri olarak kullanan bir algoritma tasarlamıştır. Markopoulus(2003) mesafeyi ve hareket yönünü bilgisiyle aday hücreyi belirleyen bir el değiştirme algoritması önermiştir. Sadece yön koşullunu kullanan algoritmaların yetersiz kaması sebebiyle bu yön ön koşulunu da içeren daha geniş kapsamlı algoritmalar önerilmiştir (Tripathi,1998).

4.5.6 Minimum Güç Algoritması

Bir minimum güç el değiştirme algoritması uygun baz istasyonu ve kanalı arayarak yukarı link transfer gücünü minimize eder (Chuah,1995). Bu algoritma çağrı kayıplarını azaltırken gereksiz Ed 'leri artırır. Bunun için zamanlayıcı önerilmiştir. İlk önce her baz istasyonunda en az interferansı veren kanal bulunur. Daha sonra en az güce sahip kanal kararlaştırılır. Bazı durumlarda sinyal gücü ya da sinyal kalitesi eşiklerine ulaşılmaya da hareketli istasyon her zaman en düşük yol kaybı olan hücreye atanmasının kesinleştiren güç kullanım kriterleri kullanılır.

4.5.7 RSS ve BER Tabanlı Algoritmalar

Bu tip algoritmalar o andaki baz istasyonunu için RSS eşik seviyesi ve hedef baz istasyonu için bir histeresiz çerçevesi kullanır. BER için ayrı bir eşik seviyesi tanımlanmıştır. Hedef baz istasyonu Ed karar işlemine dahil edilir veya edilmez. GSM 'de hedef bazın sinyal kalitesini hareketli istasyonun bilmediği durumda daha sonraki plan kullanılır. Prensipde hedef baz

istasyonunun kontrol kanalının BER 'ini ölçmek mümkündür. Bu konuyla ilgili çalışmalarda RSS eşiği, BER eşiği ve RSS histeresiz pencere boyutu olarak üç parametre kullanılmıştır. En iyi eşik değeri iki baz arasındaki orta noktada alınan ortalama sinyal seviyesidir. Fakat yayılma yüzünden bu eşik her bir baz istasyonu için hesaplanmalıdır. Bir RSS histeresizi Ed yi ciddi bir şekilde geciktirir. Daha yüksek BER eşiği Ed isteklerini erkene çeker. Ed isteklerinin sayısı bulunan yere göre ciddi farklılıklar gösterir. Bu yayılma karakteristiklerinin yerel yeryüzü şekillerine ve çevreye yüksek derecede bağlı olduğunu gösterir. Deneysel sonuçlardan sinyal seviyesi ve BER profillerinin önemli şekilde değiştiği anlaşılır. RSS hareketli istasyonunun aldığı enerjiyi direkt olarak gösterirken, BER CCI ve transmisyon kalitesini gösterir. RSS eşik seviyesinin Ed üzerindeki etkileri BER 'in tersidir. Çünkü BER seviyesinin gradyanı RSS seviyesinin tersidir. Eğer sinyal seviyesinin gradyanı aşırıysa Ed bölgesi eşikteki küçük değişikliklere daha az duyarlıdır. Histeresiz sinyalin dalgalandığı durumlarda erken Ed isteklerinin önlenmesinde yararlıdır. Histeresiz küçük hücrelerde daha çok faydalıdır. Geniş hücre sitelerinde histeresiz görece olarak daha küçük olmalıdır. Çünkü Ed 'nin başlamasına gecikme katar.

4.6 Gelişen El Değiştirme Algoritmaları

4.6.1 Dinamik Programlama Temelli El Değiştirme Algoritmaları

Dinamik programlama optimizasyona sistematik yaklaşıma izin verir. Fakat bu genellikle modele bağımlı (özellikle yayılma modeline) ve sinyal gücü gibi bazı parametre ve kriterlerin hesaplanmasını gerektirir. Bu zamana kadar dinamik programlama çok basitleştirilmiş Ed senaryolarına uygulanmıştır.

El değiştirme maliyet optimizasyonu olarak görülür. Hareketli istasyondaki RSS örnekleri bir istatistik işlem olarak incelenmiştir. Maliyet birçok özelliğin fonksiyonudur. (Sinyal gücü, CIR, kanal zayıflaması, gölgeleme, yayılma kaybı, güç kontrol stratejisi, trafik dağılımı, hücre yükleme profilleri ve kanal tahsis gibi). El değiştirmeler başarılı bir Ed için gereken kaynaklara dayanan anahtarlama cezaları olarak modellenmiştir. Dinamik programlama Ed için optimal yöntem özelliklerinin çıkarılması için kullanılır. Simülasyon sonuçları, sinyal gücü tabanlı algoritmadan daha iyi sonuçlar verdiğini gösterir.

4.6.2 Patern Tanıma Tabanlı El Değiştirme Algoritmaları

Bu algoritmalar el değiştirme problemini bir patern tanıma problemi olarak tanımlar. Patern tanıma kompleks ve gürültülü bir çevrede anlamlı düzenlikleri belirler. Bu teknikler birbirine yakın matematiksel olarak tanımlanmış örnekleri bulunan değişkenleri ve cisimleri sınıflandırma mantığına dayanır. Açık patern tanıma teknikleri n boyutlu ($n-1$) hiper yüzeyler

tanımlayan ayırık fonksiyonlardan kullanır. Üstü kapalı patern tanıma teknikleri giriş paterninin her bir sınıftaki önceden tanımlanmış tipik paternlere uzaklığını ölçer. Farklı tipteki paterne olan uzaklığın ölçümünün hassasiyeti ağırlıklar kullanarak ayarlanır. Kümeleme algoritmaları ve bulanık sınıflandırıcılar üstü kapalı tekniğin örnekleridir. Hücrel sınırların yanındaki bölgeler stabil değildir ve muhtemelen birçok gereksiz Ed gerçekleşebilir. Patern tanıma teknikleri verimli bir şekilde RSS ölçümlerini işleyerek belirsizlikleri azaltır.

4.6.3 Tahmine Dayalı El Değiştirme Algoritmaları

Tahmine dayalı Ed algoritmaları RSS gibi Ed kriterlerinin değerlerini önceden hesaplarlar. Kapoor (1994) simülasyon aracılığıyla sinyal gücüne dayalı algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Sinyal gücü tabanlı Ed algoritmaları yol kaybı ve gölge sönümlerini ölçümlemleri kullanarak Ed kararı verirler. Yol kaybı mesafeye bağlıdır ve belirlenebilir. Gölge sönümlerine değişiklikleri ilişkilidir ve tahmin edilebilir. İlişki faktörü çevrenin ve iki nokta arasındaki mesafenin fonksiyonudur. Sunulan tahmin tabanlı algoritmalar gereksiz el değiştirmeden kaçınmak için bu ilişkiden faydalanır. Bir sonraki RSS, bir önceki ölçülen RSS in FIR filtreden geçilmesiyle hesaplanır. FIR filtrenin parametreleri devamlı güncellenerek tahmin hatası azaltılır. Mevcut ve gelecek RSS değerlerine bağlı olarak Ed kararına öncelik verilir. Olumsuz etkisi olmayacaksa bir histeresiz de eklenebilir. Son karar hesaplanan Ed önceliğine göre yapılır.

4.6.4 Yapay Sinir Ağı El Değiştirme Algoritmaları

Yapay sinir ağlarının öğrenme ve sınıflandırma kapasitelerinden son yıllarda Ed konusunda da yararlanmaya başlanmıştır. Bu algoritmalarda çok sayıdaki Ed karar verme kriterleri algoritmaların içinde yapay sinir ağlarıyla sınıflandırılmıştır. Makela ve Pahlavan (2005) mikro hücrel ortamda bazlardan gelen sinyallerin ölçerek Ed yapılacak bazı belirleyen bir 3 katmanlı MLP ağı kullanmışlardır. Suleesathira ve Kunarak(2005) sinyal seviyesi ve trafik yoğunluğunun ağ girdisi olarak aldıkları bir karar verme aşaması için RBF ağı kullanmıştır. Sinyal tabanlı algoritmalarla göre daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Tripathi (1998) patern sınıflandırma problemi olarak ele aldığı RSS, SIR, trafik ve mobil hızını girdi olarak kullanan algoritması için bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını kullanmıştır. MLP ağıyla yaptığı uygulamada başarılı sonuçlar elde etmiştir.

4.6.5 Bulanık Mantık El Değiştirme Algoritmaları

Bulanık mantık algoritmalarının faydalarından el değiştirmenin karmaşık parametrelerinin çözümlenmesinde yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda bulanık mantık algoritmalarının geleneksel metotlara göre gösterdiği istikrar ve yüksek başarımlı oranları ispatlanmıştır. Üst

üste binen kapsama alanları iyi bir şekilde modelleyerek geleneksel metotlardan daha iyi sonuçlar vermişlerdir. Birçok bulanık mantık algoritmalarında RSS, SIR, trafik yoğunlu, mobil hızı mesafe ve mevki gibi kriterler birlikte kullanarak aday bazın ve ya eşik seviyesinin belirlenmesi problemleri çözülmüştür. Bu algoritmalar içerdikleri fazla kriter sebebiyle haberleşme kalitesi, trafik yoğunlu, el değiştirme oranı gibi performans ölçütü için başarı sağlanmıştır.(Tripathi,1999,1998)(Yang,2005)(Edwards,1997)(McGuire,1997)

4.7 El Değiştirme Önceliği

El değiştirmenin başarısız olmasının engellenmesinin yollarından biri el değiştirmeye öncelik vermektir. Ed algoritmalarının yoğun trafikte kötü performans göstermesine sebep olan yüksek Ed sayısını azaltmaya çalışırlar. Böyle durumlarda Ed önceliği verilerek performans artırılabilir.

4.7.1 El Değiştirme Önceliğine Giriş

Zorunlu çağrı sonlandırma sayısını azaltmak için Ed önceliğiyle beraber kanal tahsis kullanılmaktadır. Ed önceliği için iki basit metot aşağıda açıklanmıştır.

Koruma Kanalları:

Ed için özel olarak ayrılan sabit veya dinamik olarak ayarlanabilen sayıda kanal kullanmak başarılı Ed oranını arttıracaktır. Örneğin hücre içinde X tane kanal arasında Ed için Y tane kanal ayırarak öncelik sağlanabilir. Geriye kalan (X-Y) kanallar yeni çağrılar ve Ed çağrıları için kullanılır. Yeni bir çağrı geldiğinde eğer (X-Y) den daha az sayıda kanal varsa çağrı bloke olur. Aday baz istasyonunda boş kanal yoksa Ed başarısız olur. Buna rağmen bu kavramın spektrum verimli kullanmada riskler mevcuttur. Korunma kanallarının adaptif sayısı bu problemin azaltılmasına yardımcı olur.

Koruma kanallarının verimli olarak kullanılması için optimum sayılarının belirlenmesi, alandaki trafik düzeninin ve zaman içinde kanal kullanım dağılımının bilinmesini gerekir.

El Değiştirmenin Kuyrukta Bekletilmesi

El değiştirmenin geciktirilmesinin bir yolu da kuyrukta bekletmektir. MSC el değiştirme isteğini aday baz istasyonu meşgulse reddetmek yerine kuyruğa alır. Yeni çağrıları kuyrukta bekletmek başarısız Ed olasılığını artırır. Ed 'nin kuyrukta bekletilmesi yeni çağrı kayıplarını arttıracaklarını göz önüne alınarak uygulanırsa başarılı Ed sayısı artar. Bu durumda kuyruktaki Ed istekleri bitmeden yeni çağrılara kanal tahsis edilmez . Kuyrukta bekletme yöntemini baz istasyonlarının üst üste binen kapsama alanlarında kullanmak mümkündür.

Kuyrukta bekletme eğer Ed istekleri düzgün dağılımlı olarak geliyorsa gereksizdir. Kuyruğa alma Ed istekleri bir grup halinde geliyor ve trafik azsa daha etkilidir. Kuyrukta bekleme iki durumda etkisizdir: 1- Trafiğin çok yoğun olduğu durumda. 2- Orta yoğunlukta ki trafikte Ed isteklerinin grup olarak geldiği durumda.

Kuyrukta bekletme makro hücrelerde oldukça yararlıdır. Böylece sinyal seviyesi kabul edilemez seviyelere düşene kadar beklenebilir. Mikro hücrelerde ise zaman kısıtlamaları sebebiyle o kadar etkili değildir. Daha iyi performans elde etmek için kuyrukta bekletme ve kanal tahsisi beraber kullanılabilir.

Kuyruğa alma ve el değiştirme parametrelerinin birleşik optimizasyonu aşağıdaki listedeki sebeplerden dolayı daha iyi sonuçlar vermektedir (Giancristofaro, 1994).

- Ed algoritmalarının, çağrı kaybı oranını ve gereksiz Ed sayısını optimize etmek istediği durumda yüksek trafik altında kanalın bloke olması sebebiyle aşırı çağrı kaybı oluşur. Bu stratejiler Ed sayısını sınır geçişlerinde minimize eder ve Ed isteklerini yüksek trafikte kabul etmek için yeterli zaman olmayabilir.
- Farklı Ed algoritmaları farklı gecikme zamanlarına sahiptir. Böylece Ed 'yi kuyruğa almadaki gecikme bazı algoritmalar için kabul edilebilir olmayabilir. Ed kuyrukta bekletmenin performansı Ed algoritmalarına göre değişkendir.
- Bazı Ed istekleri daha fazla öncelik gerektirir. Bu durumlarda trafik ve iletişim karakteristikleri göz önüne alınarak belirlenebilir.

4.7.2 El Değiştirme Önceliği Sistemleri

Farklı el değiştirme sistemlerinin performansını simülasyon modelleri kullanarak iletim ve trafik karakteristiği ile beraber ölçülmüştür (Everitt, 1995). Simülasyon sonuçları kuyrukta bekletme ve kanal ayrımı planları çağrı kaybını önemli derecede arttırdığını göstermektedir.

Ed önceliği spektrum kullanımını ve Ed kayıplarını azaltarak servis kalitesini artırır. Eğer tüm kanallar doluysa Ed istekleri kuyrukta bekletilirken yeni çağrılar bloke olacaktır. Ed kuyruğu dinamik olarak ölçümlerle yeniden düzenlenir. Ed önceliği tekniği önceliğin olmadığı ilk girenin ilk çıktığı (FIFO) mantığı kullan tekniklerle karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları bu tekniğin daha düşük çağrı kaybı olasılığına, trafiğin azalmasına ve daha az gecikmeye sahip olduğunu göstermiştir (Tekinay, 1992). Yeni önerilen plan zorunlu çağrı sonlandırma oranını iyileştirirken çağrı bloke olasılığını artırır. Öncelikler hareketli istasyonda ölçülen RSS ile belirlenir.

4.8 El Değiştirme ve Diğer Kaynak Yönetimi Görevleri

4.8.1 Kaynak Yönetimine Giriş

Hücresel sistem tarafından yürütülen kaynak yönetim görevleri kabul kontrolü, kanal tahsis, güç kontrolü ve el değiştirmedir. Entegre radyo kaynak yönetim sistemi bunlar arasında gereken dengeleri sağlayarak en iyi performansı elde etmeye çalışır. Entegre radyo kaynak yönetimi sistem kapasitesini belirli kalite kısıtlamaları dahilinde arttırabilir. Radyo kaynak yönetimi görevleri hücresel sistemin zaman ve mekanla değişen yapısı gereği, girişim, trafik ve yayılım ortamı gibi faktörlere uyarlanır olmayı gerektirir. Uyarlanır radyo kaynak yönetimi başlangıç hücre planlamasını ve yeniden planlamasını kolaylaştırır ve daha organize ve otomatik yapar. Kaynak yönetiminin önemli hedefleri girişim ve el değiştirmenin azalması ve değişen trafik ve girişim koşullarına uyum sağlamasıdır. Ayrık radyo kaynak yönetiminin görevlerini birleştirmek mümkündür. Örneğin kaynak ve kanal tahsis birleştirilebilir. El değiştirme isteği kuyruğa alınabilir ve Ed kanal müsait olunca yapılır. Klasik hücre planlaması mevcut olan spektrumunu ortama yüksek oranda bağımlı olan radyo yayılımı, hızlı ve büyüyen trafik ve diğer faktörler sebebiyle verimli olarak kullanamayabilir. Kaynak yönetiminin görevleri aşağıda açıklanacaktır:

Kabul Kontrolü:

Yeni çağrılar ve devam eden çağrılara farklı davranılmalıdır. Yeni çağrılar kuyrukta bekletilebilir. El değiştirmelere öncelik verilmelidir. Sistemin aşırı yüklenmesi önlenmelidir. Diğer yandan kapasitenin artması GSM operatörleri için gelir demektir. Ancak algılanan servis kalitesi sisteme erişebilirlik ile ilgilidir.

Kanal Tahsisi:

Kanal tahsis stratejileri sabit, dinamik ve esnek olarak gruplanabilir: Sabit Kanal Tahsis(FCA) sürekli olarak bir grup kanalı kümedeki (kluster) her bir hücreye tahsis eder. Sabit kanal tahsisinin çeşitleri Ödünç Almalı Sabit Kanal Tahsis (FCAB), Karma Sabit Kanal Tahsis(FCAHA) ve Kanal Sıralamalı Ödünç Almalı Sabit Kanal Tahsis (FCABCO) 'dir. FCAB 'ta bir kanal, tüm kanalların meşguliyeti durumunda ödünç alınır. FCAHA 'da her hücredeki tüm kanallar iki gruba bölünür. Birinci grup yerel kullanım için diğeri ise ödünç vermek için kullanılır. FCABCO ise FCAHA 'nın gruplarındaki kanal sayısının dinamik olarak değişmesi üzerine kurulmuştur

Dinamik Kanal Tahsisi(DCA) kümedeki tüm kanalların küme içinde kullanımına izin verilir. Yeni çağrı teşebbüsü için gerçek kanal tahsis gelecek bloke olasılığı, aday kanalın kullanım frekansı ve kanalın yeniden kullanım mesafesine bağlı maliyet fonksiyonunun azaltılmasına

bağlı olarak yapılır. Dinamik kanal tahsisi bir ön frekans planlaması gerektirmez fakat eş kanal kullanımına izin verilip verilmediğinin belirlenmesini ister. Fantacci(1996) YSA kullanarak kanal tahsisi problemi çözülmüştür. Dinamik kanal tahsisi düşük yüklerde sabit kanal tahsisinden daha iyi performans gösterir. Çünkü trafik artışlarına iyi adapte olur fakat yüksek yüklerde o kadar iyi performans göstermez. Bu nedenle bazı karma sistemler önerilmiştir.

Esnek Kanal Tahsisi(FLCA): Bu stratejide kümedeki bazı kanallar hücreler arasında sabit olarak dağıtılır. Kalan kısımlar ise sabit kanalların yetersiz olduğu durumlarda kullanılır.

Güç Kontrolü

Güç kontrolü pil ömrünü artırır, insan sağlığına yönelik zararları azaltır ve girişimi kontrol altında tutar. Güç kontrolü kullanmak için SIR bir kriter olarak kullanılır. Bu durumda hareketli istasyon güç ayarlamalarıyla bir SIR hedefine ulaşmaya çalışır. Eğer alıcı tarafında C/I kısıtlamalarını karşılayan minimum güç yayılırsa spektrum verimliliği kontrolsüz güç sistemlerine göre artacaktır. C/I oranının arttırmak için verici gücünün artırılması transmisyon kalitesi hedeflerini karşılamaz; diğer sistemlerde güçlerini arttıracak girişimden kurtulmak isteyebilirler. Bu durum genel girişim seviyesi artırır.

El Değiştirme

Baz istasyonu tahsisinin bir kolay yolu hareketli istasyonu en yakın baz istasyonuna atamaktır. Fakat daha önce bölüm 4.2.2 de açıklanan sebeplerden Ed karmaşık bir hal alır. Hücre içi Ed, hücrenin sınırlarını muhafaza etmek için ve sonuç olarak girişimi azaltmak için bir yöntem olarak görülebilir. Radyo trafiğinin uzaysal dağılımına adaptasyon hücre alanları ve Ed parametrelerinin adaptasyonu ile değişen şekillerle sağlanır. Bu etkiye “hücrenin nefes alması” denmektedir. Fakat bu yönlendirilmiş yeniden deneme metodunda en iyi sinyal seviyesi sağlayan baz istasyonu kullanılabilir değilse ikinci derecede en iyi sinyal seviyesini sağlayan baz Ed için kullanılır. Yönlendirilmiş yeniden deneme hücre alanı artırılırken genel girişim seviyesini de artırır.

4.8.2 Kaynak Yönetimiyle Birleştirilmiş El Değiştirme Algoritmaları

İki veya daha fazla radyo kaynak yöntemi görevlerini birleştiren algoritmalarının bazıları aşağıda anlatılmıştır.

Birleştirilmiş Hücreler Arası El Değiştirme ve Kanal Tahsisi

Anlık girişim ve trafik durumlarına adapte olan kanal tahsis algoritmaları daha basit planlama sağlar. Bu büyüyen sistemlerde büyük avantaj sağlamaktadır. Mevcut kanalın (C/I) periyodik

olarak ölçülmesine dayanan bu tip algoritmalar literatürde bulunmaktadır.

Yukarı Link Sır Tabanlı Entegre El Değiştirme Algoritması

SIR eşiğine bağlı entegre bir kaynak yönetimi algoritmasındaki kaynak yönetim görevleri kabul kontrolü, güç kontrolü, el değiştirme ve kanal tahsisidir. SIR belirli bir seviyenin altına inince γ_{drop} (AMPS için 16 dB) çağrı düşer. γ_{drop} kabul edilebilir en düşük kalitedir. Güç kontrolü hedef SIR eşiği γ_t ile yerine getirilir. Her hareketli istasyonun güç kontrolü ile γ_t ye ulaşmaya çalışır. Çağrı kontrolü SIR eşiği γ_{new} ile sağlanır. Yeni çağrı teşebbüsü γ_{new} den yüksekse kabul edilir. Yeni çağrı kabulünün mevcut çağrılarla girişim yapmaması gerekir. El değiştirme ve kanal tahsisi, SIR 'ın γ_{ho} altına düştüğü zaman en düşük girişim kanalına yapılması gerektiği göz önünü alınarak birleştirilir.

Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Entegre El Değiştirme Algoritması

Baz istasyonu tahsisi, kanal tahsisi ve güç kontrolü bir bütün olarak alınır. Aday baz istasyonu ile aradaki karşılaştırmalar aynı verici gücü seviyelerinde karşılaştırılır. Güç kontrolü spektral verimliliği arttırmak için kullanılır.

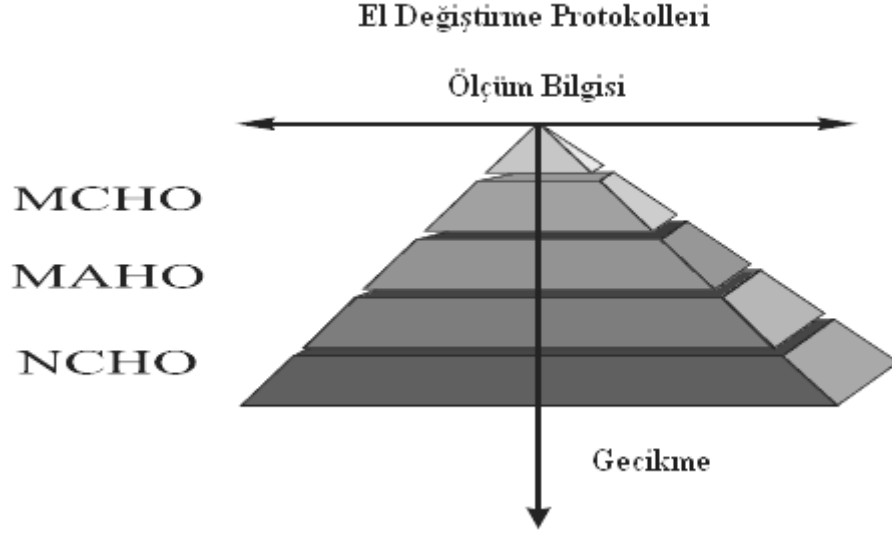
Entegre Güç Kontrolü ve El Değiştirme Algoritması

Güç kontrolü ve baz istasyonu tahsisini bir bütün olarak algoritmalar en düşük güçte en iyi çözüm bulunmak üzerine kurulmuştur. Minimum güç algoritması tekrarlayan şekilde minimum verici gücü problemini çözmeye çalışır. Algoritmanın tekrarı sırasında hareketli istasyon kabul edilebilir CIR 'ı sürdürmek için baz istasyonu ve verici gücü kombinasyonunu seçer. Bu sırada hareketli istasyonun sabit güç yaydığı varsayılır.

Benzer bir birleşik güç kontrolü ve baz istasyonu seçimi algoritmasında verici gücüne adapte olunurken kullanıcıları minimum girişim için bazlar arasında değiştirir. Algoritma ayrıca kullanıcıları daha az yoğun yerlere yönlendirerek trafik sebebiyle oluşan kilitlenmelerin önüne geçmeye çalışır. Böylece bazda daha yüksek kapasite sağlamaktadır (Hanly,1995)

4.9 El Değiştirme Protokolleri

Dört basit tipte el değiştirme protokolü mevcuttur. Ağ Kontrollü El Değiştirme(NCHO), Hareketli İstasyon Destekli El Değiştirme (MAHO), Yumuşak El Değiştirme (SHO) ve Hareketli İstasyon Kontrollü El Değiştirme (MCHO). Şekil 4.12 de El değiştirme protokolleri ile ilgili mukayese gösterilmiştir. NCHO dan MCHO ya doğru ilerledikçe Ed gecikmesi azalır.Fakat ölçüm bilgisi de azalır.Bu protokoller aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 4.15 El değiştirme protokolleri için gecikme ve ölçüm bilgisi.

4.9.1 Ağ Kontrollü El Değişirme Algoritması

Ağ Kontrollü El Değişirmeye Giriş

Ağ kontrollü el değiştirmede (NCHO) ağ birkaç baz istasyonundaki hareketli istasyona ait RSS ölçümlerine bağlı olarak el değiştirme kararını verir. Ed komutu ses kanalına sesi keserek ve data gönderilerek iletilir. Bazen ağ eski ve yeni baz arasında köprü bağlantısı kurarak bu süreyi kısaltır. Genelde Ed işlemi (veri iletimini, kanal anahtarlama ve ağ anahtarlama dahil) 100-200 ms alır ve görüşmede dikkat edilebilir bir klikleme duyulur. Bu klik sesi gürültülü ses kanalında fark edilmez ama yüksek kalitede fark edilebilir. Tüm kullanıcılar için sinyal kalitesi hakkındaki bilgi tek bir noktada (MSC) de toplanır. Bu bilgi kaynak tahsisini kolaylaştırır. Bu sürede toplam kaybın yaklaşık olarak 5 ila 10 sn arasında olduğu bilinmektedir. Bu tip bir Ed hızla değişen ortam koşullarında ve yüksek sayıda kullanıcı içeren bölgelerde uygun değildir.

Pratikte Ağ Kontrollü El Değişirme

Bu tip bir el değiştirme ilk olarak birinci nesil analog sistemlerde (AMPS, TACS ve NMT) kullanılmıştır. Ölçüm sadece baz tarafından yapılmaktadır. Bağlanılan terminallerin RSS 'leri ölçülür. SIR denetleyici ses tonu (SAT) tarafından ölçülmektedir. Baz istasyonu duyulabilir ses tonunun dışındaki bir frekansta bir ton göndermektedir ve bu ton hareketli istasyon tarafından yansıtılır ve baz istasyonu geri gelen ses tonu vasıtasıyla girişimi hesaplar. El değiştirme kullanıcı tarafından klik sesiye anlaşılabılır. Çünkü dijital mesaj analog hat üzerinden gönderilmektedir. Ölçümler baz istasyonundaki iki alıcı tarafından yapılmaktadır.

Ana alıcı tüm ters ses bandının sinyal gücünü ölçer. Yer belirleyici alıcı komşu hücrelerdeki hareketli kullanıcıların sinyal şiddetlerini belirler. Bu alıcılardan gelen girdilerle MSC el değiştirmeye gerek olup olmadığına karar verir.

4.9.2 Hareketli İstasyon Destekli El Değiştirme

Bir hareketli istasyon destekli el değiştirme protokolü (MAHO) el değiştirme karar işlemini bileşenlere dağıtır. Hareketli istasyon ölçümleri yaparken MSC kararları verir. Bu sırada 1 sn 'lik bir gecikme olabilir. Köşe etkisinden kurtulmak için bu gecikmenin süresi fazladır.

Pratikte Hareketli İstasyon Destekli El Değiştirme

TDMA ve FDMA tabanlı GSM ve CDMA tabanlı IS-95 standartları MAHO 'yu kullanır. IS-95 tabanlı sistemler MAHO ile birlikte yumuşak el değiştirme kullanır. Yumuşak el değiştirme ilerde açıklanacaktır.

GSM de kullanılan el değiştirme kriterleri şunlardır:

- Hareketli istasyon, BTS ve BTS 'in çevresindeki hücrelerin maksimum verici gücü.
- Hareketli istasyon tarafından ölçülen gerçek zamanlı ölçümler(BER ile gösterilen aşağı link kalitesi).
- BTS 'lerin ölçümleri (Yukarı link kalitesini gösteren BER).
- Trafik, hücre kapasitesi ve yük

GSM in TDMA yapısı trafik kanalı (TCH) ve kontrol kanallarından (CCH) oluşur. BTS boş trafik kanallarındaki girişimi de ölçmektedir. BTS-Hareketli istasyon arası mesafeyi ölçmek seçimli bir özelliktir. Hareketli istasyon tarafından ölçülen veriler ortalamaları alınarak 480 ms de bir (SACCH) Yavaş Birleştirilmiş Kontrol Kanalı üzerinden BTS ' e gönderilir. BTS algoritması en son ölçülen 32 ölçümü işler. Operatörler ve üreticiler kendi algoritmalarını ve parametrelerini kullanmakta özgürdür. Birçok üretici algoritmalarını sinyal gücü üzerine oturtmaktadır. Bu durumda BER ve Ön Zamanlama Ed girdisi olarak alarm durumlarının göstergesi olarak kullanılır. Aynı frekans kanalında başka bir zaman dilimine el değiştirme girişim sebebiyle yapılır.

Hareketli istasyon hizmet aldığı baz istasyonun RSS ini ve komşu bazların RSS 'lerini SACH ile 480 ms de bir ölçüp belirli bir periyotla ortalamalarını alır. Bu ortalama eşik seviyesi ile karşılaştırılır. Hareketli istasyon komşu hücreleri RSS büyüklüklerine göre derecelendirir. Güç yönetim kriteri ile Ed aralığını karşılaştırır ve böylece gereksiz Ed den kaçınılır. Güç

yönetimi kriteri tutunca el değiştirme en yüksek derecedeki hücreye yapılır. Eşik seviyesiyle düşük sinyal seviyelerinde Ed yapılması engellenir.

4.9.3 Yumuşak El Değiştirme

Yumuşak El Değiştirmeye Giriş

Yumuşak el değiştirme (YED) kısaca “kesmeden önce el değiştirme yap” olarak tanımlanır. Eski bazla olan bağlantı yeni bazla bağlantı kurulmadan kesilmez. Yumuşak el değiştirme makroskopik çeşitleme tekniğinden faydalanır. Makroskopik çeşitleme iyi kalitede iletişim elde etmek için hareketli istasyonun sinyallerinin farklı bazlardan alınmasıdır. Makroskopik çeşitleme, farklı bazların aynı çağrıyı ilişkili olmayan sinyal yolları ile gönderdiği ve aldığını varsayan çeşitleme birleşiminin prensipleri üzerine dayandırılır. Makroskopik çeşitleme RSS ve SIR için interferans limitli sistemde iyi performans verir. Girişim limitli sistemler yumuşak el değiştirme şeklinde uzaysal çeşitlemeden yararlanır. Makroskopik çeşitleme uzaysal çeşitlemenin bir çeşididir ve gölge sönmülmenin etkilerini azaltmak için bir çok baz istasyonu gelen sinyalleri ölçer.

Tek Kanal Yumuşak El Değiştirme(SCHO):

Bu tip yumuşak el değiştirmede tüm dahil lan baz istasyonları aynı kanal üzerinden iletim yaparlar. Yüksek trafik durumlarında SCSHO yeterli olabilir.

Çok Kanallı Yumuşak El Değiştirme (MCSHO):

Bu tip YED de dahil olan bütün bazlar farklı kanallar kullanır. Hareketli alıcı bu ortogonal kanallardaki sinyali çözümler ve çeşitleme birleştirme teknikleriyle makroskopik çeşitlemeyi başarır. Genelde çok kanallı yumuşak el değiştirmenin sinyal kalitesi tek kanallıdan daha iyidir. Fakat yüksek trafik yoğunluğunda MCSHO kanal yetersizliğinden mümkün olmayabilir.

YED eğer dikkatli uygulanırsa kapasiteyi artırır. YED sinyal enerjisini ve girişim dayanıklılığını artırır. Bu da kanal tekrar kullanımı mesafenin azalmasına sebep olur ve böylece kapasite artar. Fakat YED eş kanal girişimini arttırdığından kanal tekrar kullanım mesafesini de artırır ve bu sebeple kapasite azalır. Bu iki çelişen durum arasında bir denge kurulur. YED değişen SIR dağılımının avantajına sahiptir. Baz istasyonundan uzak olan hareketli istasyon daha çok enerji alır ve bu kapsama alanı dışında kalma olasılığını azaltır. Başka bir avantajı da artan sinyal enerjisi baz istasyonları arasındaki çağrı değiştirmeyi azaltır. Bu da hesaplama yükünü azaltır. Özellikle YED bölgesinin ve ilgili parametrelerin düzgün seçimi Sert El Değiştirme pin-pon etkisini engeller. YED in bir dezavantajı YED

yapan bir hareketli istasyon farklı baz istasyonlarında ve santraldeki farklı kanalları işgal eder. Bunun yanında YED sabit ağdaki kablolu kanallardaki trafiği arttırmaya meyillidir. YED ‘e katılan baz istasyonu sayısının artışı sabit ağdaki trafiği artırır. Ayrıca YED gönderilen sinyalin çoklu kopyalarını çözümleyebilecek özellikteki hareketli cihazlara ihtiyaç duyar.

Pratikte Yumuşak El Değiştirme

CDMA sistemlerde yumuşak el değiştirme genel olarak kullanılır. IS-95 sistemi için YED yapan bir baz istasyondur aynı frekans ve Walsh kodda veri iletimi yapar. Sonuçta alınan sinyallere ek olarak gelen çoklu yollar çözümlenen sinyalle birleştirilmiş olarak alınır. Yumuşak Ed kullanıcı tarafından fark edilemez ve bütün baz istasyonlarıyla el değiştirmeden sonrada uyum sağlanması için sıkı bir senkronizasyon gerektirir. CDMA sistemler bu fonksiyonu sağlamak için GPS sistemi aracılığıyla bir ana saat frekansı kullanır. TDMA sistemleri eğer bazlar arasındaki senkronizasyon sağlanamazsa sert el değiştirme yaparlar. CDMA sistemleri sert el değiştirme yapmak için farklı bir Walsh fonksiyonu ve farklı bir frekans kullanmak zorunda kalırlar. Sonuç olarak bağlantıda ortaya çıkan kesilme, konuşma ve veri kaybına sebep olur. Bu sert el değiştirme kullanıcılar için fark edilebilir ve CDMA için önemli bir araştırma konusudur.

CDMA de hareketli istasyon Ed sebebiyle frekans değiştirmeye gerek kalmaz. Aday baz istasyonu eski bazla halen bağlantısı devam eden hareketli istasyonla bağlantı kurar. Hareketli istasyon her iki baz istasyon arasında ileri geri geçebilir. Hareketli istasyon sabit bağlantıyı kurduktan sonra eski bazla bağlantıyı keser. Böylece CDMA tabanlı Ed “kesmeden yap” anahtarlama fonksiyonunu gerçekleştirir. Çağrı başlatıldıktan sonra hareketli istasyon komşu hücrelerin pilot sinyallerini tarar. Hareketli istasyon kendi bulunduğu hücreden daha yüksek bir kalitede sinyal bulduğunda el değiştirmeyi başlatır. Sistem kontrolörü aday baz tarafındaki hücrede yer alan bir modem ataması yapar ve modeme çağrının PN adresi verilir. Her modem dijital bir modülatör ve dijital veri alıcı fonksiyonlarına sahiptir. Modem hareketli istasyon sinyalini bulur ve giden sinyali modeme iletir. Sistem kontrolörü çağrıyı yeni hücreye balar ve eski hücre modeminin yeniden tahsis edilebilir duruma getirir. Bu basit bir durumdur. Çeşitleme durumu adı verilen diğer durumda bir iki veya daha fazla baz hareketli istasyondan gelen sinyali çözümler. Baz istasyonları çözümlenmiş sinyali ve eklenmiş sinyal kalite bilgilerini sinyal kontrolörüne iletir. Kontrolör en iyi sinyal kalitesini seçerek en uygun yere iletir. Daha iyi çeşitleme birleştirme işlemi kullanılabilmesi için baz istasyonlarının çözülmemiş ve hatta modüle edilmemiş sinyalleri sistem kontrolörüne iletmesi mümkündür. Alınan sinyallerle hareketli istasyonda çeşitleme birleştirme yaparak hücre çeşitleme durumu

yalnız bir baz istasyonu iyi kalitede sinyal sağlayabildiğinde sonlandırılır. Ayrıca yetersiz modem bulunması ve sistemin aşırı yüklenmesinde de durum sonlandırılabilir.

4.9.4 Hareketli İstasyon Kontrollü El Değiştirme

Hareketli İstasyon Kontrollü El Değiştirme (MCHO) de hareketli istasyon kontrol işleminin içerisinde. Bu tip el değiştirmenin kısa tepki süresi vardır(Yaklaşık olarak 0,1 sn) ve mikro hücreler için uygundur. Hareketli istasyon diğer kullanıcıların sinyal kalitesi ile ilgili bilgiye sahip değildir ve Ed diğer kullanıcılarla girişime sebep olmamalıdır. Bunun için etraftaki baz istasyonları ve üzerlerindeki tüm kanalların girişim seviyesini ölçer. El değiştirme hizmet alınan bazın sinyal seviyesinin diğer bazlardan belirli bir eşik seviyesi kadar düşük olduğunda başlatılır. Hareketli istasyon hedef baz istasyonlarındaki girişimden en düşük etkilenen kanalı seçer.

Hareketli istasyon kontrollü el değiştirmenin yapılmasında görev dağılımı seviyesi en yüksektir. Bu yöntemin avantajı Ed kararı hızlıca yapılır ve MSC her hareketli istasyon için karar almak zorunda kalmaz. Bu yüksek kapasiteli sistemlerde zor bir görevdir. Hareketli istasyon kontrollü el değiştirme Avrupa Standardı Kablosuz Telefon Sisteminde (DECT) kullanılır. Hareketli istasyon ve baz mevcut kanalı gözler ve baz ölçümleri (RSS ve BER) hareketli istasyona rapor eder. Boş kanalın (C/I) oranı ayrıca incelenir. Karar hareketli istasyon tarafından verilir. Hem hücre içi hem hücreler arası Ed mümkün olup Ed süresi yaklaşık 100ms dir.

4.10 Sonuç

Yüksek performanslı el değiştirme algoritmaları birçok gereksinim duyulan özelliği bir birleri arasında ödün vererek birleştirerek karşılayabilir. Fakat topoğrafik özellikler, trafik değişimleri, yayılım ortamı ve sisteme özel kısıtlamalar el değiştirmeyi karmaşık hale getirir. Değişik sistem senaryoları değişik sınırlamaları ortaya çıkarır. Özel olarak hazırlanmış Ed algoritmaları farklı haberleşme sistemlerinde düzgün olarak performans gösteremez. Bu sebeple mevcut yapılarıdaki özelliklerin gelecek sistemlerde de bulunması ile ön çalışma yapmış olmak mümkün olup daha stabil bir gelişimin sağlanması mümkündür.

5. EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMALARININ ANALİZİ

El değiştirme algoritmalarının performans analizi iki bölümden oluşur: Performans ölçütleri ve performans hesaplama mekanizması. Performans ölçütleri el değiştirme algoritmalarının performansını derecelendirir. Hesaplama mekanizmaları performans ölçütlerinin istatistiklerini toplamak için bir yol sağlar. Birçok performans ölçütü literatürde bulunmakta ve sunulmaktadır. Üç ana el değiştirme mekanizması aşağıda kısaca açıklanacaktır. (Analitik, Simülasyon ve Emülasyon). Ayrıca simülasyon mekanizmasının basit bileşenleri incelenecektir. Mikro ve makro hücreler için mevcut simülasyon modelleri hücresel sistemin bir çok noktası düşünülerek geliştirilir. Yumuşak el değiştirmenin karakteristiğini alt-örtü/üst-örtü algoritmalarını anlamak için simülasyon modelleri iyi bir analiz sağlar.

5.1 El Değiştirme Performans Ölçme Sistemi

Şekil 5.1 El değiştirme analiz işleminin iki ana bölümden oluştuğunu göstermektedir: Performans hesaplama mekanizması ve performans ölçütleri. Bir çok performans ölçüm sistemi ortaya atılmış ve Ed ile ilgili sistemlerin performansını hesaplamak için kullanılmıştır (Pollini,1996).

El değiştirme Algoritmalarının Analizi

Hesaplama
Mekanizması
Seçimi

- * Analitik
- * Simülasyon
- * Emülasyon



Performans
Mekanizması
Seçimi

- * El Değiştirme Sayısı
- * El Değiştirme Gecikmesi
- * İnterferans
- * Hücre Üyeliği
- * Engellenen Çağrı

Şekil 5.1 El Değiştirme Algoritmalarının Analiz Prosedürü.

Engellenen Çağrı Olasılığı:

Yeni çağrının engellenme olasılığıdır. Bazı Ed önceliği sistemleri bu ölçümü daha iyi bir Ed performansı elde etmek için görmezden gelirler.

El Değiştirme Engellenme Olasılığı:

Bir el değiştirme teşebbüsünün engellenme olasılığıdır. Bu ölçüm sistem tarafından benimsenen kanal atama stratejisine son derece bağlıdır.

El Değiştirme Olasılığı:

Çağrı sırasında el değiştirme yapma olasılığıdır. Uygun olan yapılırken gereksiz olanlardan vazgeçilmelidir.

Çağrı Kaybı:

Mevcut çağrılarının vaktinden önce kesilmesi olasılığıdır. Düzgün Ed çağrı kaybını azaltabilir.

Gereksiz El Değiştirme Olasılığı:

Mevcut çağrı kabul edilebilir kalitede olmasına rağmen Ed yapma olasılığıdır. Algoritma bunu azaltmaya çalışmalıdır.

El Değiştirme Oranı:

Birim zamanda yapılan el değiştirme sayısı. Yüksek oranlar yüksek işlem yüküne sebep olur. Özellikle yüksek trafik yoğunluğu sırasında zararlı etkilere sebep olur.

Kesme Zamanı:

Hareketli istasyonun hiçbir baza bağlı olmadığı zamanın süresi.

Gecikme:

El değiştirme isteğinin başlangıcı ve uygulanmasının isteği arasındaki zamandır.

İnterferans Olasılığı:

Taşıyıcının interferansa oranının(C/R) koruyucu orandan az olma olasılığıdır. Küçük interferans olasılıkları daha iyi spektrum verimliliği sağlar. Hücresel sistemde küme büyüklüğü ortalama interferans olasılığıyla belirlenir.

Tahsis Olasılığı:

Hareketli istasyonun belli bir baza bağlı kalma olasılığıdır. Bu ölçüm Ed tarafından oluşan interferans ve planlanan hücre sınırlarının korunması hakkında bilgi verir.

Bu performans göstergelerinden bazıları kanal tahsisi stratejisine bağlı olup tek başlarına el değiştirme algoritmalarına bağlı değildir (Örneğin bloke olasılığı ve Ed bloke olasılığı). Eğer simülasyon açıkça bu verilerin olasılıkların vermiyorsa trafiğin kümülatif dağılım

fonksiyonundan (CDF) elde edilebilir. Hareketli istasyonun bir yolculuğu sırasındaki ortalama Ed sayısı bize Ed olasılığı hakkında fikir verebilir.

5.2 El Değiştirme Hesaplama Mekanizması

Analitik, simülasyon ve emülasyon yaklaşımı içeren üç basit mekanizma el değiştirme performansını ölçmek için kullanılır.

5.2.1 Analitik Yaklaşım

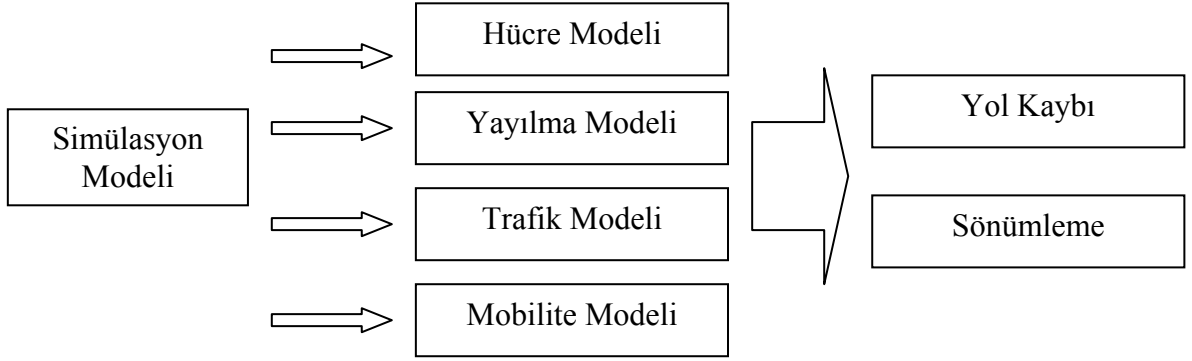
Bu yaklaşım basitleştirilmiş el değiştirme senaryoları için bazı el değiştirme algoritmaları hakkında ön bilgi verir.(Örneğin RSS profillerinin varsayımı). Asıl Ed prosedürleri oldukça karmaşıktır ve belleksiz değillerdir. Bu analitik yaklaşımı daha az gerçekçi yapar. Gerçek dünya şartları bu yaklaşımı karmaşık ve hesaplanamaz yaparlar. Bazı analitik yaklaşımlara kısaca aşağıda değinilmiştir.

(Vijayan,1993)' de iki baz istasyonu RSS 'leri arasındaki farklılıklarının seviye geçişleri durağan sinyal gücü ölçümleri için Poisson işlemi olarak modellenmiştir. Vijayan daha sonra bu çalışmayı durağan olmayan sinyal ölçümleri için genişletilmiştir ve Poisson işlemi zamanla değişen oran fonksiyonu olarak modellenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları hareketli istasyonun düzgün bir hat üzerinde bir bazdan ötekine sabit hızla ilerlediği basitleştirilmiş bir senaryoda gereksiz Ed ve Ed deki gecikmelerin arasında optimum bir denge kurmak için histeresiz seviyesini ve ortalama aralığını belirlemek için yararlıdır. Austin(1994) ,(Vijayan 1993) de incelenen sinyal gücü tabanlı Ed yaklaşımına CCI etkilerini eklemiştir. Zang (1994) Ed algoritma performansını analiz için tam ve göreceli sinyal gücü ölçümlerine dayanan bir analitik model geliştirilmiş ve bunların simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmasını yapmıştır.. Lin(1995) analitik model PCS mimarisi için mikro/makro hücre örtüsü için trafik performansını inceler. Eğer bir çağrı mikro hücrelerde hizmet alamıyorsa makro hücreye taşar. Çağrı makro hücre de kanal mevcut değilse bloke olur. Makro hücreye taşan trafik hesaplanır. Makro hücre için çağrı sonlandırma olasılığı taşan trafiğe göre hesaplanır. Leu ve Mark(2002) mikro hücre model tasarlayarak eksponensiyel ve yerel ortalama metotları kullanarak ortalama alıp el değiştirme performansına etkilerini incelemiştir. Yerel ortalama daha iyi performans göstermiştir.

5.2.2 Simülasyon Yaklaşımı

Simülasyon yaklaşımı en çok kullanılan el değiştirme analiz mekanizmasıdır. Literatürde bir çok farklı senaryoya uygulanabilecek bir çok simülasyon modeli ortaya atılmıştır. Genellikle Ed algoritmalarının analitik analizini yapan çalışmalarda iki baz arasında yapılan el değiştirme göz önüne alınmıştır. Fakat simülasyon yaklaşımı hücresel sistemin bir çok

özelliğini dahil edebilmeye izin verir. Bu yaklaşım farklı el değiştirme algoritmalarını karşılaştırmak için test alanı sağlar. Sistemin karakteri hakkında da bilgi verir. Hesaplı olmasına rağmen baz istasyonunda yapılan ölçümler küçük alanlardaki performansı tanımlamak için çok yeterli değildir. Saha ölçümleri yararlıdır fakat zaman alıcı ve pahalıdır. Yazılımsal simülasyonlar ise hızlı, kolay ve hesaplı ölçüm sağlar. Simülasyon modelleri genellikle bir veya daha fazla parçadan oluşur. Hücre modeli, yayılma, trafik ve mobilite modeli gibi. Bu modeller belirli simülasyon modelleriyle beraber ileride açıklanacaktır. “Şekil 5.2” tipik simülasyon modelini göstermektedir.



Şekil 5.2 Simülasyon Modelinin Bileşenleri.

Hücre Modeli:

İki, üç veya dört hücrenin yan yana komşuluğunda iki baz istasyonu arasındaki el değiştirmeyi inceleyen dairesel makro ve mikro hücrelerde hücre planlama stratejileri farklılık gösterir. Makro hücresel sistem bazen düzgün dağılımlı 7 hücreli kümeden (kluster) oluşan 49 hücreli torodial sistem olarak simülasyonda kullanılır.

Gudmunson (1992) Manhattan da hücre planlaması üzerine inceleme yapmıştır. Şehir modeli bir satranç tahtası gibi düşünülmüştür. Mikro hücresel sistem senaryolarında benzer yapıda mikro hücreler kullanılmıştır. Farklı hücre planları mikro hücresel çevre simülasyonu için kullanılabilir.

Yayılma Modeli:

Kablosuz haberleşme sisteminin performansı hareketli radyo kanalına bağlıdır. Radyo dalgaları hareketli radyo kanalında yansıma, kırılma ve saçılma gibi farklı şekillerde yayılır. Yayılma modelleri ortalama sinyal seviyesini ve değişimini vericiden istenilen uzaklıkta hesap etmeye yararlar. Farklı ortamlar için (kapalı ve açık alanlar gibi) farklı yayılma modelleri mevcuttur. Makro ve mikro hücreler farklı yayılma karakteristiklerine sahiptir.

Harley (1989) mikro hücreler için sinyal zayıflamasının ölçümelerini sunmakta ve geleneksel modellerin (Hata ve Okumura vb.) mikro hücreler için uygun olmadığını göstermektedir. Ölçümler Avustralya Meblbourne 'de 5-20 m arası değişen baz istasyonu antenleriyle 900 MHz ve 1.8 GHz için gerçekleştirilmiştir. Burada tartışılan modellerin ana özelliklerinin ispatı literatürde yapılmıştır. Örneğin Berg(1992) mikro hücreler için gerçek ölçümlere dayanan yol kaybı, geniş ölçek ve küçük ölçek zayıflama modelleri sunar. Loo(1991) Rayleigh, Rician, log-normal ve yer-uydu zayıflama kanallarını beyaz Gauss rasgele işlemine dayanan bilgisayar modelleri anlatmaktadır. Yayılma modelleri genellikle yol kaybı, geniş ölçek ve küçük ölçek zayıflama modellerinden oluşur. Önceki bölümlerde deneysel yayıl modellerine detaylıca değinilmişti.

Yol Kaybı Modeli:

Makro hücrelerde yol kaybı baz istasyonu yer seçimi, hücre boyutu ve frekans yeniden kullanımı gibi bir çok farklı amaç için kullanılır. Hata ve Okumura yol kaybı modelleri makro hücreler için kullanılır. Mikro hücreler LOS ve NLOS yayılım için birçok farklı model içerir.

LOS yayılması için iki yaygın kullanılan model mevcuttur. Düz dünya modeli ve iki eğim modeli. Düz dünya modelinde bir direkt ışın ve 180° faz farkıyla bir yansıyan ışın elektrik alana katkıda bulunur. Berg (1992) çalışmasında deneysel yol kaybı modeli için iki eğim modelini sunmuştur. Yol kaybı eşik mesafesine (kırılma noktası) kadar belirli bir eğimde daha sonra artan bir eğimle artar. Gerçekte mikro hücrelerde dalga yayılımı karmaşık olup serbest uzay yayılımına ek olarak yansıma, kırılma ve saçılmadan oluşur. Fakat yol kaybı modelinin ana özellikleri bu deneysel modellerle anlatılabilir. Bazı parametre ayarları için iki eğim modeli düz dünya modeline yaklaşıp.

NLOS yayılma için sokağın köşesinde bir LOS yayılımı varsayılır. Köşede görüş alanı içindeki baz istasyonundan gelen güce eşit güçte sanal bir vericinin olduğu varsayılır.

Geniş Ölçek Sönümlleme Modeli:

Berg (1992) e göre farklı standart sapmalarda LOS ve NLOS caddelerin çoğunluğu için geniş ölçek sönümlleme ögesi log-normal dağılıma yaklaşıp. Dağılım filtre edilmiş log-normal dağılımlı değişimdir. Simülasyonda değişim $\pm 3\sigma$ den fazla olmamalıdır. Berg 'in elde ettiği ölçümlere göre ortalama standart sapma LOS caddeler için 4 dB ve NLOS için 3.5 dB olarak hesaplanır. Gudmunson (1991) hareketli radyo kanallarında gölge sönümlleme etkisi için ekspansiyel özilişki modeli önerir. Sonuçlar orta ve geniş hücreler için modelin iyi uyum sağladığını fakat mikro hücrelerde daha az doğru olduğunu gösterir.

Küçük Ölçek Sönümlleme Modeli

Küçük-ölçek zayıflama genellikle Rician dağılımıyla modellenirken K parametresi (Rician Faktörü) mesafeyle değişir. $K=0$ iken değişim Rayleigh sönümllemesidir. Küçük ölçek zayıflama, gölge sönümllemeye göre kısa korelasyon mesafesi sebebiyle ortalama alındığında ihmal edilebilir.

Trafik Modeli:

Trafiğin makro hücreler için düzgün dağılımlı olduğu varsayılır. Fakat yol yapılarının mikro hücrelere göre değerlendirilmesi gerekir ve trafiğe yalnızca sokaklar boyunca izin verilir. Yeni çağrının erişim işlemi bağımsız Poisson modeli olarak belirli bir ortalama erişim oranıyla belirlenir.

Mobilite Modeli:

Hareketli istasyon filtre edilmiş Gauss dağılımını takip eden farklı hızlara sahiptir. Hareketli istasyon hızı genellikle çağrı boyunca sabit alınır.

Özel Simülasyon Modelleri

Genellikle kullanılan simülasyon modelleri için kısa açıklamalar yapılacaktır.

Basit ve genellikle kullanılan sinyal gücü hesaplamaya yönelik iki bazdan oluşan bir modeldir. Bu model küçük boyutlu makro hücreler ve mikro hücrelerdeki LOS el değiştirmeler için uygundur. Bu modelde hareketli istasyon bir bazdan diğerine sabit hızla ve düz bir hatta hareket eder. Yol kaybı tek eğim kullanılarak hesaplanır ve gölge sönümlleme etkisi eksponensiyel korelasyon fonksiyonuna sahip log-normal dağılım olarak kabul edilir.

Chuah (1995) entegre edilmiş dinamik kaynak yönetim görevi için kullanılan SIR bazlı bir model kullanmaktadır. 20 baz istasyonu bir daire üzerinde düzgün dağılmıştır. Trafik ve mobilite modeli daha önceki modeller gibidir. Yeni çağrılar bu daire üzerinde düzgün şekilde dağılır.

LOS ve NLOS için kullanılabilecek mikro hücreye uyumlu modeli Austin (1994) kullanılmıştır. LOS ve NLOS yayılma modelleri önceden anlatıldığı gibidir. Büyük ölçek zayıflama için eksponensiyel korelasyon fonksiyonuna sahip log-normal gölge sönümlleme ve küçük ölçek sönümlleme için Rician sönümlleme modeli kullanır.

Grimlund ve Gudmunson(1991) 'in modeli mikro hücresel çevre için uygundur. İki NLOS yolu düşünülmüştür ve bunlar çoklu yol geçişleri olan yerlerdeki el değiştirme algoritmalarını anlayabilmeyi kolaylaştırır. C/I etkisi belirli bir hücre için anlatılmıştır. C/I'nın 12 dB olduğu

en kötü durum senaryosu interferansı hesaba katmak için kullanılmış ve hareketli ve baz istasyonu için C/I dağılımını da açıklamıştır.

Geleneksel makro hücreli çevreler 49 hücreli silindirik 7 hücreli kümelerle sahip modeller olarak tasarlanmış olup 1 Km çapındadırlar. Mikro hücreli sistemler 100 m lik blok boyutlarıyla yarım kare hücrelere sahiptir. Mikro hücreli sistemler hem iletim hem de trafik karakteristiklerini göz önünde tutarlar. Öyle ki kombine iletim ve trafik karakteristikleri hücreli sistemin performans hesabı için daha gerçekçi bir durum sağlarlar. Giancristofaro (1994) karışık hücrelerden oluşan küme büyüklüğü ile Manhattan benzeri bir şehir ortamı simülasyonu oluşturmuştur. 4 küme servis alanı mikro hücreleri örten makro hücre ile kapsar. Kullanıcı mobilitesi Gauss dağılımı şeklinde modellenmiştir ve ortalama değer hareketli istasyonun başlangıçtan beri aldığı mesafeyle değişir. Keskin lineer hız düşüşleri köşelerde adapte edilmiş sonra düz bir çıkışla eski hızına ulaşmıştır. Yol kaybı iki eğimli zayıflama kanununa göre modellenmiştir. Cadde köşesi 4 dB/m lineer düşüşle simüle edilmiştir. Yeni çağrılar gelme olasılığı Poisson işlemi şeklinde modellenmiş ve cadde boyunca düzgün dağılımlı olarak alınmıştır. Suleesathira ve Kunarak(2005) yedi hücreli yüksek irtifa karasal hücre modeli ortaya koymuştur.

5.2.3 Emülasyon Yaklaşımı

Emülasyon yaklaşımı yazılımsal simülatörlerden ve RSS ve BER gibi ölçülen verileri işleyen el değiştirme algoritmalarından oluşur. Simülasyon tabanlı gerçek yayılma ölçümleri radyo kanalının karakteristiklerini anlamak için avantaja sahiptir. Bu yaklaşımın ana dezavantajları periyodik ölçümler ve aynı platformda başak algoritmaların karşılaştırılabilmesi için yetersiz olmasıdır.

Kinoshita ve Itoh kapalı alan yayılma simülasyonunda ölçülmüş verileri kullanmışlardır. Kapalı alan simülatör modelleri koridorda on ışın takibi yaparak 950 MHz lik çok yollu zayıflama deneyleriyle uyum sağlamıştır.

5.3 Bir Makro Hücre Simülasyon Modeli

Bir simülasyon modeli genellikle şu bölümlerden oluşur.(i)Hücre Modeli, (ii)Yayılma Modeli, (iii)Trafik Modeli , (iv) Mobilite Modeli. Bu bölümlere aşağıda değinilecektir.

Hücre Modeli ve Mobilite Modeli:

Şekil 5.3 'de gösterildiği gibi 4 komşu hücreden oluşan bir hücre yapısına sahiptir. Hücre yarıçapı 10 km ve A ve C hücre arasındaki üst üste binen kapsama alanı 2 km dir. Baz istasyonu da yayılan EIRP (Efektif İzotropik Yayılan Güç) 100 W tır. Hareketli istasyon bir

bazdan diğerine 65 mph sabit hızla gider ve bu yolculuk 500 kez tekrarlanır. Hareketli istasyon hızı yolculuk boyunca tekrarlanır.

Yayılma Modeli:

Küçük ölçek sönümlleme modeli göz ardı edilir. Çünkü gölge sönümllemesine göre kısa korelasyon mesafesi sebebiyle ortalamada kaybolur.

Yol Kaybı Modeli:

Hata modeli yol kaybını hesap etmek için kullanılır. Yol kaybı:

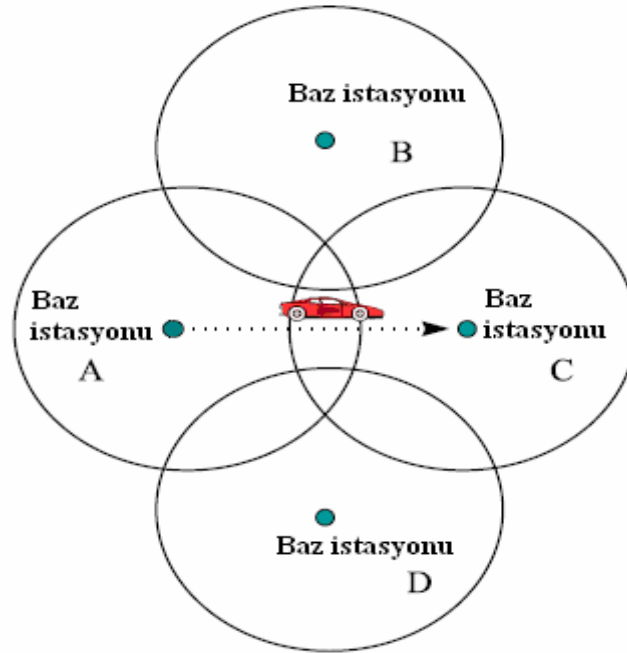
$$L_{50} = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a_{h_{re}} + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) \quad (5.1)$$

ile verilmiştir. f_c ,MHz olarak taşıyıcı frekansı, h_{te} efektif baz istasyonu anten yüksekliği, h_{re} ise alıcı anten yüksekliğidir. d verici ve alıcı arası mesafe(km), $a_{h_{re}}$ ise farklı boyutlardaki kapsama alanları için düzeltme faktörüdür. $f_c=900$ MHz, $h_{te}=30$ m, $h_{re}=3$ m olarak simülasyonda kullanılmıştır.

Orta büyüklükte ki şehir için

$$a_{h_{re}} = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_{re} - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \quad (5.2)$$

alınır. Genelde makro hücreler için Hata ve Okumura modeli kullanılabilirken mikro hücreler için LOS ve NLOS için farklı modeller kullanılır.



Şekil 5.4. Komşu 4 Baz İstasyonlu Hücre Modeli.

Büyük Ölçek Sönümlleme Modeli

Büyük ölçek sönümlleme bileşeni log-normal dağılıma uygundur.(Berg,1992) Gudmunson (1991) gölge sönümlleme modeli için makro ve mikro hücrelerde kullanılmak için deneysel yolla doğrulanmış bir eksponensiyel özilişki fonksiyonu ortaya koyar. Şehir dışı gibi büyük alanlardaki geniş hücrelerde 100m deki korelasyon 0.82 olarak bulunmuştur. Mikro hücrelerde ise 10m deki korelasyon 0.3 olarak bulunmuştur. RSS ölçümlerinin makro hücrelerde yüksek oranda ilişkili iken mikro hücrelerde öyle olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Korelasyonlu olmayan gauss örneklerinden korelasyonlu gölge sönümlleme etkisi işlemi oluşturmak ilerde anlatılacaktır. Bir n dizisinin örneklerinin korelasyonsuz ve sıfır ortalama ve σ_2 standart sapmaya sahip olduğu varsayılınsın. n dizisinin bir x dizisine sıfır ortalama ve σ_1 sapmaya sahip bir diziye dönüştürüleceği varsayılırsa eksponensiyel özilişki fonksiyonu şu şekilde verilir.

$$p(d) = E[x(D)x(D+d)] = \sigma_1 \exp(-d/d_0) \quad (5.3)$$

d iki örnek arasındaki mesafe, d_0 ise korelasyonu belirli bir mesafede için ayarlamaya yarayan parametredir. Örneğin 100 m de normalize özilişkinin 0.82 olduğu durumda $d_0=500$ m dir. Başka bir deyişle $\exp(-d/d_0)=\exp(-100/500)=0,82$ dir.

X istenilen korelasyonlu gölge sönümlleme işlemi olsun d_s örnekleme mesafesi olsun.

$$x(D+d_s) = \alpha x(D) + n(D) \quad (5.4)$$

Parametre α 'nın belirlenmesi gerekir. Özilişki:

$$E[x(D+d_s)x(D)] = E[x(D)(\alpha x(D) + n(D))] \quad (5.5)$$

$$E[x(D+d_s)x(D)] = \alpha E[x(D)^2] + E[n(D)x(D)] \quad (5.6)$$

$$E[x(D+d_s)x(D)] = \alpha \sigma_1^2 \quad (5.7)$$

(çünkü $n(D)$ ve $x(D)$ bağımsız ve 0 ortalamalı işlemlerdir.)

5.3 ve 5.7 birbirine eşitlenirse,

$$E[x(D+d_s)x(D)] = p(d) = \sigma_1^2 \exp(-d/d_0) = \alpha \sigma_1^2 \quad (5.8)$$

$$\alpha = \exp(-d/d_0) \quad (5.9)$$

$$n(d) = x(D+d_s) - \alpha x(D) \quad (5.10)$$

$$n^2(d) = x^2(D + D_s) - 2x(D + d_s)\alpha x(d) + \alpha^2 x^2(d) \quad (5.11)$$

$$E[n^2(d)] = E[x^2(D + D_s)] - 2E[x(D + d_s)x(d)]\alpha + \alpha^2 E[x^2(d)] \quad (5.12)$$

$$\sigma_2^2 = \sigma_1^2 - 2\alpha\sigma_1^2\alpha + \alpha^2\sigma_1^2 \quad (5.13)$$

$$\sigma_2^2 = \sigma_1^2 - \alpha^2\sigma_1^2 \quad (5.14)$$

$$\sigma_2^2 = \sigma_1^2(1 - \alpha^2) \quad (5.15)$$

Bu “0” ortalamalı korelasyonlu olmayan işlemi istenen varyans ve özilişki üretmek için kullanılır.

Trafik Modeli:

Trafik dağılımı düzgün dağılımlıdır ve dört hücre göz önüne bulundurulmuştur.

Basit bir simülasyon modelinde kullanıcı, mobilite, trafik ve interferans için değiştirilmiştir (Dassanayake,1994). Trafik hücrelerdeki çağrı sayısı ile derecelendirilir. 4 hücredeki çağrı sayısı 0 ile 62 (maksimum) arasında düzgün dağılımlı olarak her 75 simülasyon adımında değişmektedir. Bu toplam simülasyonun %15'ine denk gelir. İnterferans hücrenin merkezinden $D = \sqrt{NR}$ uzaklıkta konumlandırılmış baz istasyonu eş-kanalları göz önüne alınarak planlanmıştır. Burada N küme büyüklüğünü (klusterdeki hücre sayısını) ve R hücre yarıçapını belirtmektedir. İnterferansa sebep olan baz istasyonu sayısı her 75 simülasyon zamanında 0 ile 6 arasında düzgün dağılımlı olarak alınmıştır. Yalnızca ilk interferans dizisi dikkate alınmaktadır. Ed algoritmasının performansı ile interferans ve trafiğin ilgisini göstermek için trafik ve interferans bu şekilde modellenmiştir.

Simülasyon modeli bir çok önemli performans ölçütünü sağlamak için kullanılmıştır. Bunlar diğer modellerle açıklanamaz.

Basit bir simülasyon modelinin bazı özellikleri aşağıda listelenmiştir.

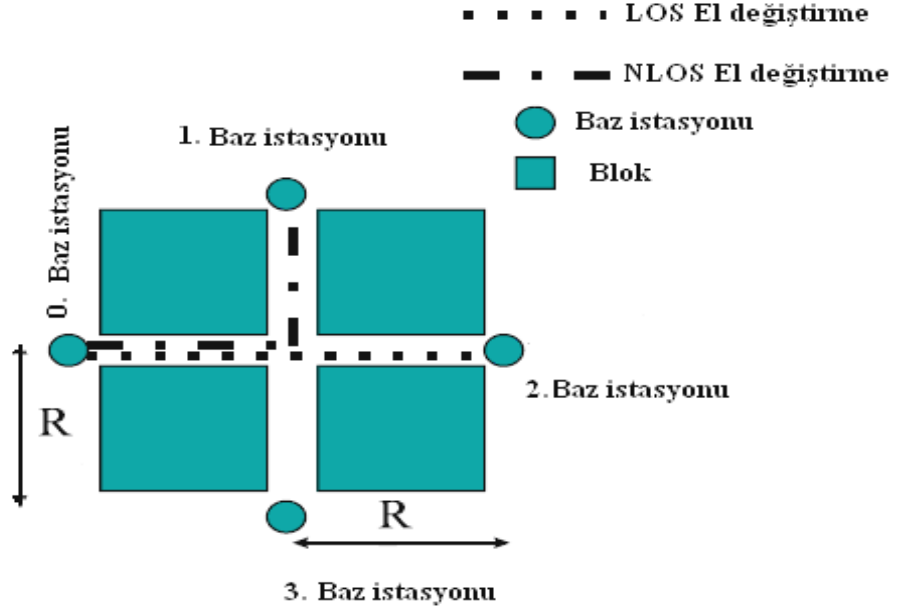
- 1- Basitlik,
- 2- Gerçekçi senaryo
- 3- Makro hücresel çevreye uyumluluk. Mikro hücresel çevre için değişiklik yapılmalıdır.
- 4- El değiştirme alanında el değiştirmenin detaylıca incelenmesine olanak sağlar. Üst üste binen kapsama alanlarındaki analiz edilebilmesini sağlar.
- 5-Bu modelle farklı boyutlardaki hücrelerin üzerinde Ed algoritmasının testi yapılabilir.

5.4 Bir Mikro Hücresel Simülasyon Modeli

Bu simülasyon modeli şu belli başlı özelliklere sahiptir.

Hücre Modeli:

Şekilde görülen komşu 4 baz istasyonu kullanılmıştır. Baz istasyonları 1 watt 'lık güç yaymaktadırlar. Hücre yarıçapı $R=250$ m dir.



Şekil 5.4 Mikro hücresel Sistemde Genel El Değişirme Senaryoları.

Yayılma Modeli:

Mikro hücreler NLOS ve LOS yayılma için farklı modellere sahiptir. İki eğimli deneysel bir yol kaybı modeli ile modellenmiştir. Yol kaybı belirli bir noktaya kadar belirli bir eğimle daha sonra farklı bir eğimle hareket etmektedir. Matematiksel olarak belirli mesafedeki alınan sinyal gücü görüş mesafesindeki nokta için

$$\begin{aligned} RSS(d) &= P_t - (10a \log d) + s + (d) & d < g \\ RSS(d) &= P_t - (10a \log d + 10b \log d / g) + s(d) & d > g \end{aligned} \quad (5.16)$$

P_t yayılan güç, d bazdan olan uzaklık, $s(d)$ gölge sönümleme örneği a, b ve g yol kaybı parametreleridir. ($a=2, b=2$ ve $g=150$) Köşe etkisi 0. bazda 255m sonra başlar NLOS yayılım için köşede bir LOS yayılma olduğu varsayılır. Köşeden sonra yol kaybı yayılımı köşeye o noktada alınan güce eşit bir sanal verici yerleştirildiği varsayılarak hesaplanır. $(d+R)$ deki alınan sinyal şu şekildedir.

$$RSS(d) = P_t - (10a \log d + 10b \log b / g) + s(d) \quad (5.17)$$

P_t cadde köşesindeki kesişimdeki LOS güce eşit hayali vericiden alınan güçtür. $d(m)$ kesişimden itibaren mesafedir. $(d+R)$ NLOS bazdan olan uzaklıktır. R NLOS baz istasyonundan yol kesişimine olan uzaklık, $s(d)$ korelasyonlu gölge sönümleme örneğidir. Diğer parametreler öncekilerle aynıdır. Korelasyonlu log-normal gölge sönümlemesi geniş-ölçek sönümlemeyi modellemek için kullanılmaktadır. Log-normal gölge sönümle sapması 7 dB dir. Mikro hücrede normal standart sapma aralığı 5 ila 9 dB dir. Makro hücreler için 8-14 dB dir. Daha önce verilen eksponensiyel özilişki modeli kullanılmıştır. Bu fonksiyon şu şekildedir:

$$p(d) = E[x(D)x(D + d)] = \sigma^2 \exp(-d / d_0) \quad (5.18)$$

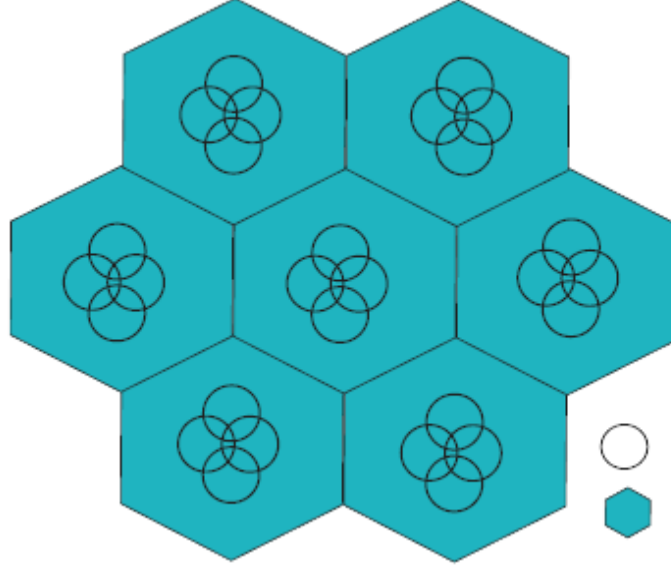
Burada korelasyon mesafesi 8.5 m olarak kullanılmıştır. Bu 10m de 0.3 korelasyon sağlamaktadır. $\exp(-10/8.5)=0.3$ bulunur. Küçük ölçek sönümleme ihmal edilebilir çünkü kısa korelasyon mesafesi sebebiyle ortalamada kaybolur.

Trafik, Mobilite ve İnterferans Modeli:

Hareketli istasyon baz istasyonu 0 dan baz istasyonu 2 ye sabit hızda görüş mesafesi içinde hareket eder. Baz istasyonu 0 dan baz istasyonu 1 'e ise görüş alanının dışında(NLOS) hareket eder. Maksimum hızı 15,64 m/sn minimum hız 6.7 m/sn olarak alınıp ortalama hız 11,18m/sn dir. Maksimum dört LOS interferansı vardır. Her baz istasyonu için maksimum kanal sayısı 20'dir. Bir hücrede mevcut çağrı sayısı ve interferansın sayısı rasgele olarak baz istasyonu bir bazdan diğerine gidişi boyunca toplam simülasyon süresinin %10 u olarak alınır.

Ölçme ve Örnekleme ve Ortalama:

Ölçme zamanı 0.1 sn, ortalama mesafesi 6.3(40 λ). Örneklerin ortalaması hız adaptif ortalama elde etmek için kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Üst-örtü sistemi için hücre yapısı.

5.5 Bir Üst-Örtü Simülasyon Modeli

Bu simülasyon modelinde bir üst-örtü sisteminde genel el değiştirme senaryosunun el değiştirme algoritmasında uygulanabilmesini sağlar. Bu model üst-örtü algoritmasının özel bir bakış açısından performans ölçütlerinin detaylarını açıklar.

Hücre Modeli:

“Şekil 5.5” te hücre örtüsünü gösterir. 7 makro hücreli kümeden oluşur. Her makro hücre 4 mikro hücreyi kapsar.

Yayılma Modeli:

Yol kaybını hesaplamak için Hata modeli kullanılmıştır. Yol kaybı şu şekilde hesaplanır.

$$L_{50} = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a_{h_{re}} + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) \quad (5.19)$$

Simülasyonda $f_c=900$ MHz, $h_{te}=30$ m, ve $h_{re}=3$ m dir.

Orta büyüklükteki bir şehir için

$$a_{h_{re}} = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_{re} - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \quad (5.20)$$

Mikro hücre için önerilen modele benzer bir model kullanılmıştır. Bu deneysel yol kaybı modeli iki eğimli modeldir. Alınan sinyal gücü şu şekilde verilir.

$$RSS(d) = P_t - (10a \log d + 10b \log d / g) + s(d) \quad (5.21)$$

$a=2, b=2$ ve $2=150$ olarak alınmıştır. Log-normal gölge sönümlemesi sapması makro hücreler için 11 dB ve mikro hücreler için 7 dB dir. Gudmundsun(1991) 'un eksponensiyel özilişki fonksiyonu kullanılmıştır.

$$p(d) = E[x(D)x(D + d)] = \sigma^2 \exp(-d / d_0) \quad (5.22)$$

$d=100m, d_0=500m$ dir. Makro hücre için korelasyon $\exp(-100/500)=0.82$ dir. Mikro hücre için korelasyon $\exp(-10/8.5)=0.3$ dür. Küçük ölçek sönümleme kısa korelasyon mesafesi sebebiyle ortalama sonucunda ihmal edilir.

Trafik, Mobilite ve interferans Modeli:

Yeni çağrı süreleri 120 sn ortalamaıyla bağımsız eksponensiyel rastlantı değişkenidir. Trafik ise düzgün dağılımlı olarak varsayılmıştır. Yeni çağrı erişim işlemi bağımsız Poisson işlemi olarak modellenmiştir. Ortalama çağrı erişim oranı $\lambda = T_{ryük} MB\mu$ olarak verilmiştir. $T_{ryük}(0-1$ arası) normalize trafik yükü, M baz istasyonu başına kanal, B hücredeki baz istasyonu sayısı, $\mu=1/cd$, cd =çağrı süresidir. Hareketli istasyonun hızı çağrı boyunca sabit olarak alınır. Maksimum hız 70mph, ortalama hız 45 mph minimum hız 20 mph olarak alınmıştır. Sistemdeki tüm kullanıcılar için eş-kanal interferansı rastlantısal olarak toplam simülasyonun %1 i olarak alınmıştır.

Ölçüm, Örnekleme ve Ortalama:

Örnek ölçme zamanı 0.25 sn ortalama mesafesi makro hücre için 260m mikro hücre için 50m alınmıştır. Örneklerin ortalaması hız adaptif örnekleme yapmak için kullanılmıştır.

Başlangıç Hücre Seçimi:

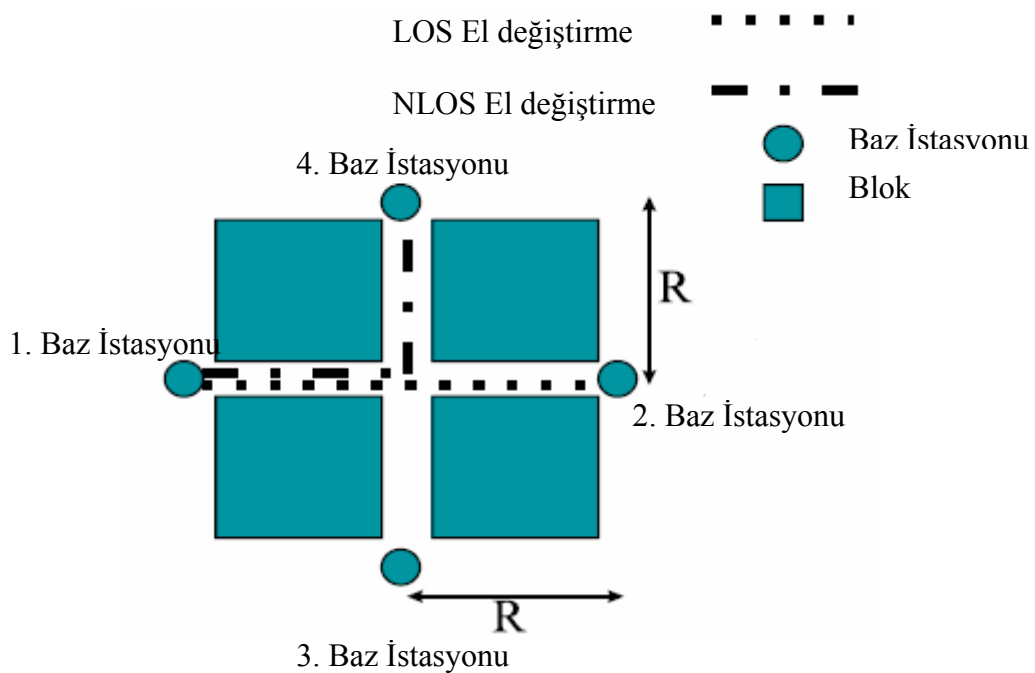
Yeni çağrılar geldiğinde mikro hücreler yeterli güç sağlayamıyor veya kullanıcı hızı hız eşiğinden yüksekse makro hücreye atanır.

6. GSM EL DEĞİŞTİRMENİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

Önceki bölümlerde el değiştirme işleminin detaylarına değinilerek kullanılan yöntemler ve kriterler göz önüne alınmıştır. El değiştirmenin karmaşık yapısı sebebiyle uygun ve yüksek performanslı algoritma tasarlamak için çeşitli yollar kullanılmıştır. Özellikle kullanılan kriterlerin çokluğu arttıkça algoritmalarındaki girdi sayısı artmakta ve bu hesaplama zorluklarını getirmektedir. Bu sebeple el değiştirme algoritmalarının tasarım çalışmalarında sıklıkla yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi özellikle verilerin sınıflandırılmasında ve işlenmesinde hesaplama kolaylığı sağlayan yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapay sinir ağıyla bazlar arasındaki el değiştirme işlemi basitleştirilmiş bir simülasyonla yapay sinir ağlarıyla ele alınmış ve genellikle kullanılan sinyal tabanlı ve histeresiz kullanan yönteme göre performansı ölçülmüştür.

6.1 Uygulanan Mikro Hücre Simülasyon Modeli

6.1.1 HÜCRE MODELİ:



arasında olan hareketli istasyon hareketinde alınan sinyaller direkt görüş alanı içinde alınan (LOS) sinyallerdir. Fakat 1. ve 4. baz arasındaki hareket güzergahında hareketli istasyon köşeye kadar 1. ve 2. bazlardan direkt sinyal alırken köşeden sonra 3. ve 4. bazdan direkt sinyal alıp diğerlerinden endirekt sinyal (NLOS) almaktadır. Bu durumda hareketli istasyonun 1. ve 2. bazdan aldığı sinyal seviyelerinde köşe etkisi görülmektedir. 1. ve 2. bazlar arasındaki hareketinde ise 3. ve 4. bazlardan alınan sinyal seviyesi cadde kesişimin de direkt olarak sinyal alabildiği yer haricindeki bölgelerde köşe etkisi altında kalmaktadır. Baz istasyonların 1 watt 'lık güç yaydığı varsayılmıştır.

6.1.2 Uygulanan Yayılma Modeli

Bu uygulamada alınan sinyal şiddetini modellemek için mikro hücrelerde deneysel olarak elde edilmiş iki eğimli modelden yararlanılmıştır. Modeli genel olarak sınıflayacak olursak parçalı lineer yayılma modeli olarak adlandırılabilir. Bu modelde sinyal belirli bir uzaklıktan (kırılma noktası) sonra farklı bir eğimle azalmaya devam eder.

Genel olarak alınan sinyal gücü:

$$P = P_{\text{yol kaybı}} + P_{\text{gölge sönüleme}} + P_{\text{küçük ölçek sönüleme}}$$

$P_{\text{küçük ölçek sönüleme}}$ bileşeninin etkileri alınan sinyallere ortalama filtreleme yapılarak ortadan kaldırılır (Belirlenen mesafe içinde alınan sinyallerin ortalaması o noktada alınan sinyale denk olarak alınır). İncelenen simülasyon modellerinde bu bileşenin etkilerinin gereken ortalama aralığı (pencere boyutu) sağlanarak ortadan kaldırıldığı görülmüştür. Burada alınan sinyali şu şekilde modellemekteyiz. Sinyal g kırılma mesafesine kadar (6.1) de verilen eşitlikle yayılırken bu mesafeden sonra (6.2) de verilen denkleme göre yayılmaktadır.

$$P(d) = P_t - (10a \log d) + s(d) \quad d < g \quad (6.1)$$

$$P(d) = P_t - (10a \log d + 10b \log b/g) + s(d) \quad d > g \quad (6.2)$$

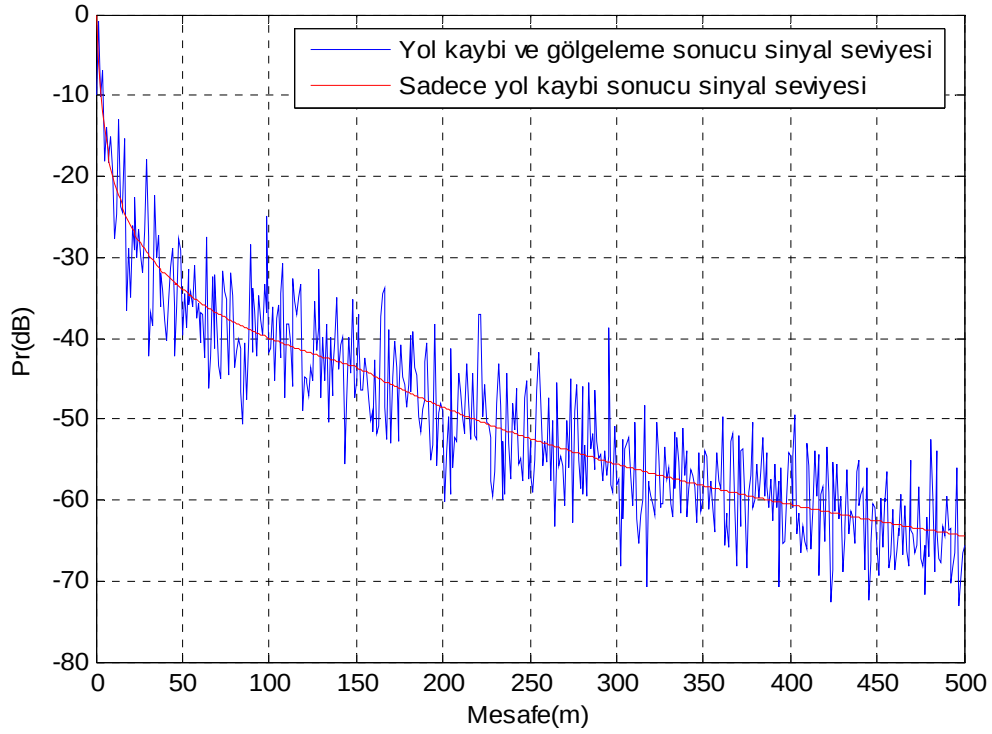
$P(d)$ alınan sinyal gücü, P_t vericiden yayılan sinyal gücü, g kritik nokta veya kırılma noktası, a ve b de deneysel yol kaybı parametreleri, $s(d)$ gölge sönüleme bileşeni, d mesafedir. g 150 ile 500 arasında değerler alabilmektedir. Bu çalışmada $g = 150$ olarak kabul edilmiştir. $a = 2$, $b = 1$ veya 2 değerlerini almaktadır. Bu değerler incelenen çalışmalarda kullanılan değerlerdir. (Tripathi,1999,1998)(Makela,2005)(Leu,2002). Hareketli istasyonun direkt baz istasyonunu görmediği (NLOS) durumda $d = 255$ m de o noktada ki alınan sinyal gücüne eşit düzeyde sinyal yayan bir baz istasyonu olduğu varsayılarak köşe etkisi modellenmiştir. $S(d)$ korelasyonlu log-normal gölge sönüleme bileşenidir. $S(d)$ "0" ortalamalı (beklendidik değer),

$\sigma = 8$ db değışintili (varyans) Gauss işlemdir. Ekspansiyel özilişki modeli kullanılmıştır. Bu işlemin özilişki fonksiyon şu şekildedir:

$$p(d) = E[x(D)x(D + d)] = \sigma^2 \exp(-d / d_0) \quad (6.3)$$

Burada korelasyon mesafesi 8.5 m olarak kullanılmıştır. Bu 10m de 0.3 korelasyon sağlamaktadır.

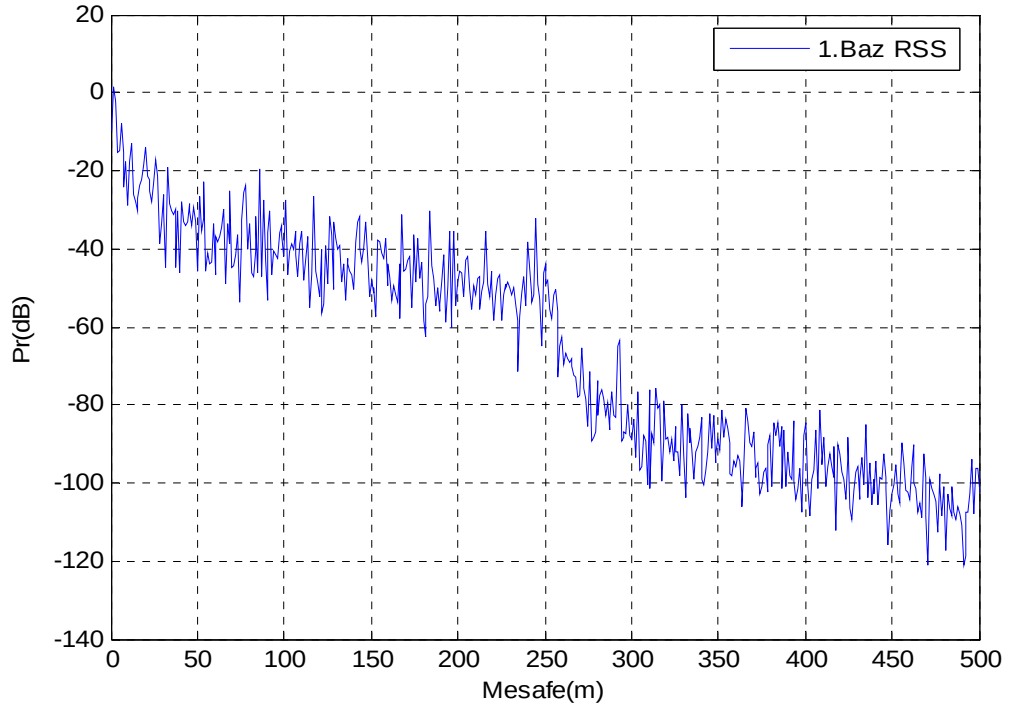
Alınan sinyallerin grafiksel gösterimleri aşağıdadır.



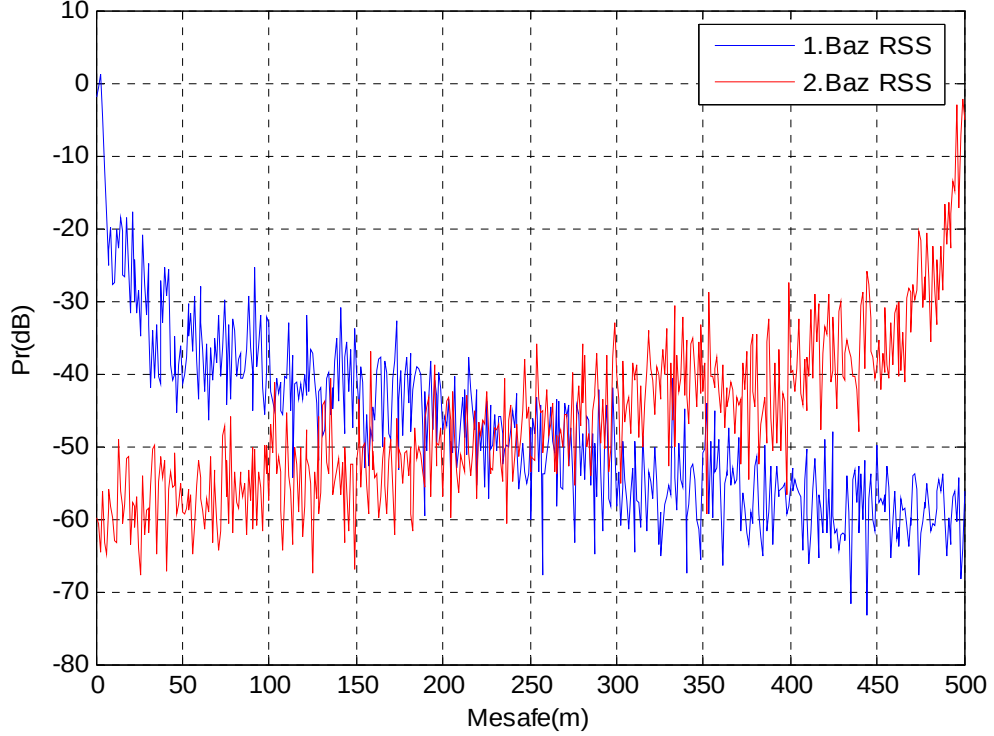
Şekil 6.2 Tek bir baz istasyonundan alınan LOS sinyalin mesafeyle değışimi.

Şekil 6.2 deki grafikteki 1. ve 2. baz istasyonları arasındaki ilerleyen yol üzerinde 1. bazdan gelen sinyal seviyesini göstermektedir. 36 km/sa hızında ilerleyen bir hareketli istasyon için 0.1 sn de örnekleme yapıldığı kabul edilmiştir. Şekil 6.2 ölçülen sinyallerin ortalamaları alınmadan çizilmiş grafik. Burada sinyal dalgalanmasının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Filtreleme ile bu etki dalgalanma ortadan kaldırılmaktadır.

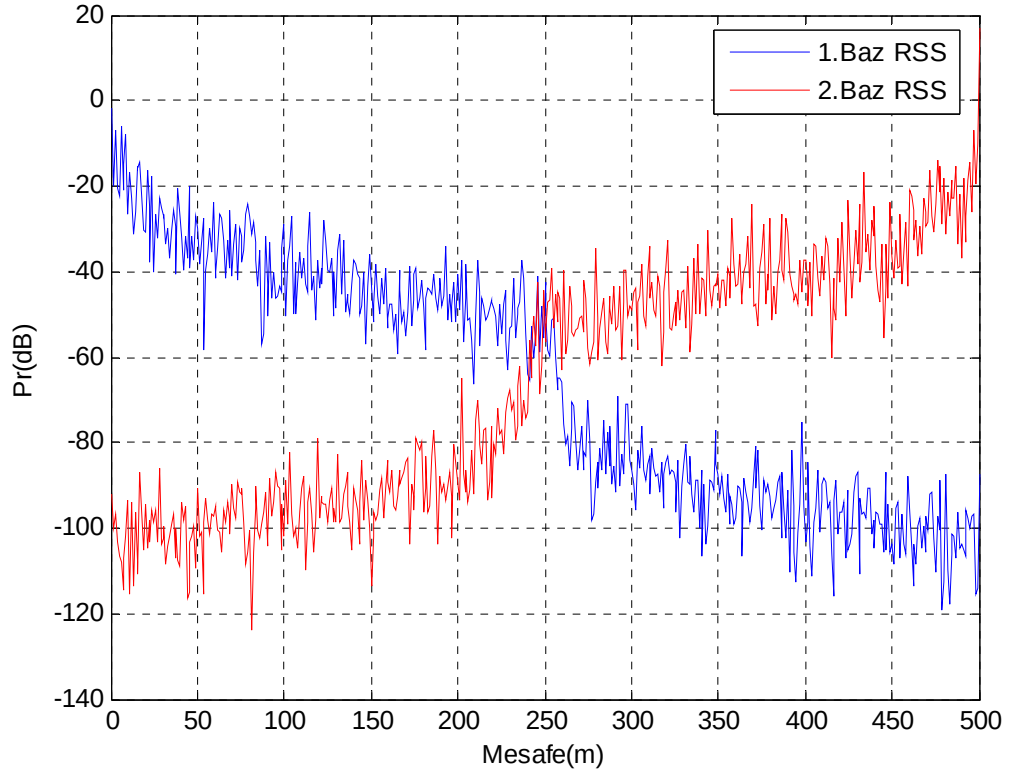
1. ve 4. baz istasyonları arasındaki yol üzerinde birinci bazdan alınan sinyal seviyesi ise “Şekil 6.3” te gösterilmektedir. 255 m den sonra köşe etkisini gözlemlenmektedir. 1.baz istasyonundan alınan sinyal köşede 10-20 dB civarında düşüş göstermektedir.



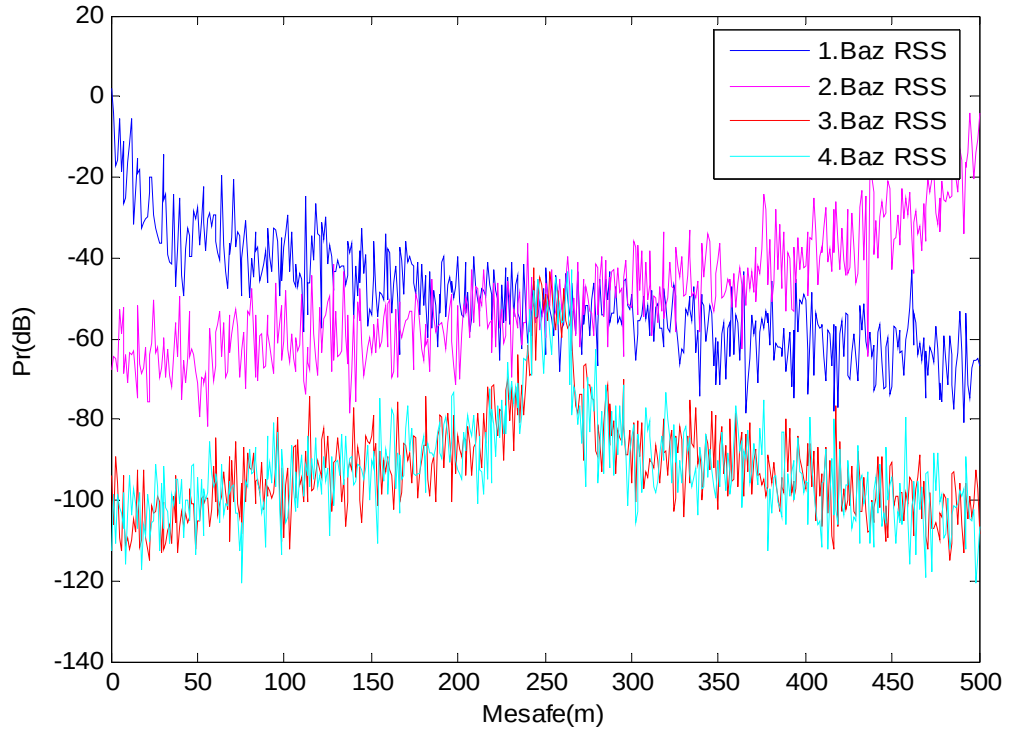
Şekil 6.3 Tek baz istasyonundan alınan (NLOS) sinyal



Şekil 6.4 İki baz istasyonu arasındaki (LOS) sinyal seviyeleri

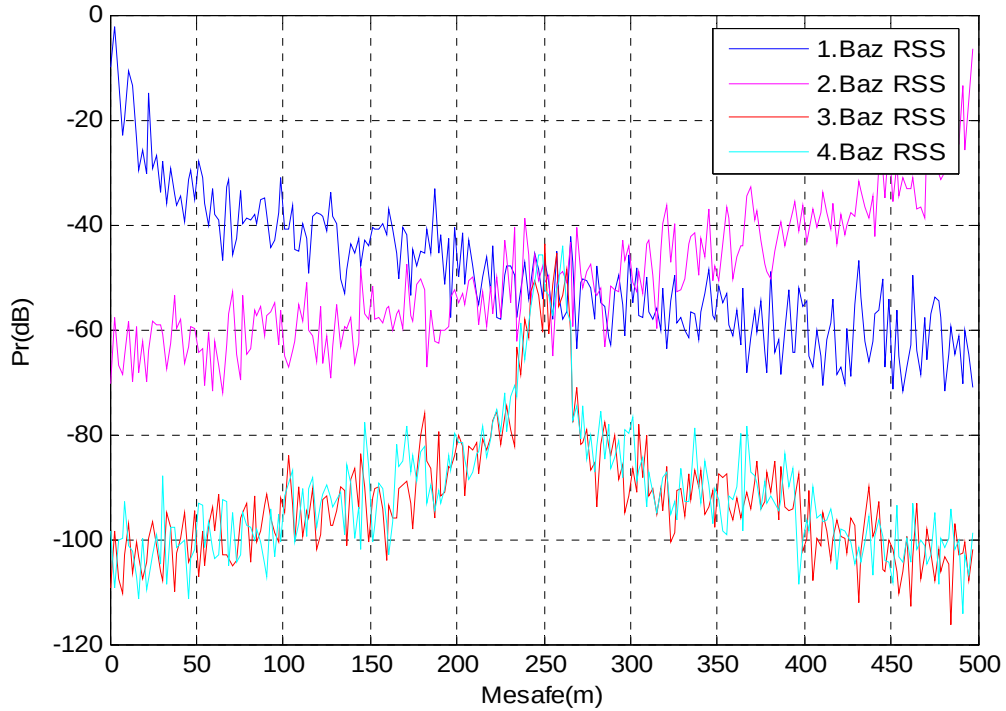


Şekil 6.5 İki baz istasyonundan NLOS yol için alınan sinyal seviyeleri.

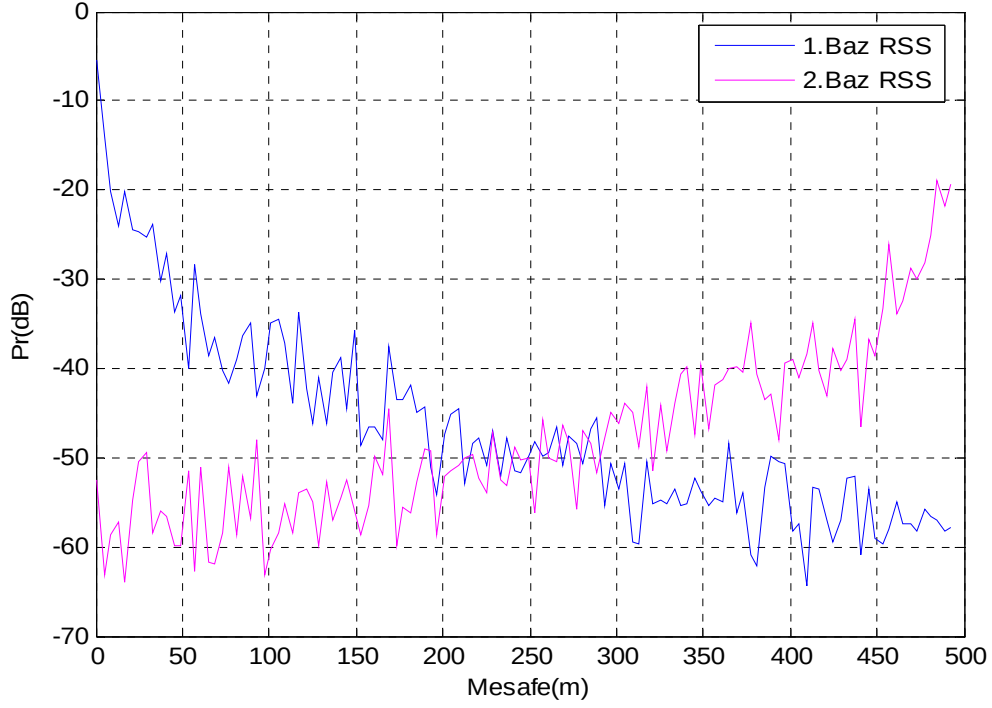


Şekil 6.6 Dört baz istasyonundan LOS ve NLOS durumda alınan sinyal seviyeleri.

“Şekil 6.4” te birbirini karşılıklı olarak gören iki bazdan yol boyunca alınan sinyal seviyeleri görülmektedir orta noktalara geldikçe sinyal seviyeleri birbirine yaklaşmaktadır. “Şekil 6.5” te ise birbirini direkt olarak görmeyen iki baz arasında ilerleyen hareketli istasyona göre sinyal seviyelerinin değişimi görülmektedir. “Şekil 6.6” ortamda dört baz istasyonu olması durumunda düz bir hat boyunca ilerleyen hareketli istasyonun baz istasyonlarından alacağı sinyal seviyesini gösterir. Alınan sinyallerin hız uyumlu olarak ortalama tabi tutulur, 0.1 sn aralığında örnekleme sonrası gösterimi aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Bu örneklerin GSM ağının 480 ms lik aralıklarla baz istasyonlarıyla veri iletişimi yaptığı göz önüne alınarak bu boyuttaki bir pencere ile ortalamaları alınmıştır. Ekspansiyon ortalamadan daha başarılı sonuçlar verdiği gösterilen lokal ortalama yöntemi ile ortalamaları alınmıştır. Uygulamada bu ortalama tabi tutulan sinyaller kullanılmaktadır. Hızlı sönümlenmenin etkilerini azaltmak için örnekleme aralığı $0.5\lambda_c$ olduğu durumlarda $20\lambda_c$ ila $40\lambda_c$ arasındaki ortalama aralıkları yeterli olmaktadır. Böylece hızlı sönümlemekten kaynaklanacak sinyal değişimleri ihmal edilebilmektedir.



Şekil 6.7 Baz istasyonlarından gelen sinyallerin pencereleme sonrası sinyal seviyeleri.



Şekil 6.8 İki LOS baz istasyonundan ortalama sonrası alınan sinyal seviyeleri.

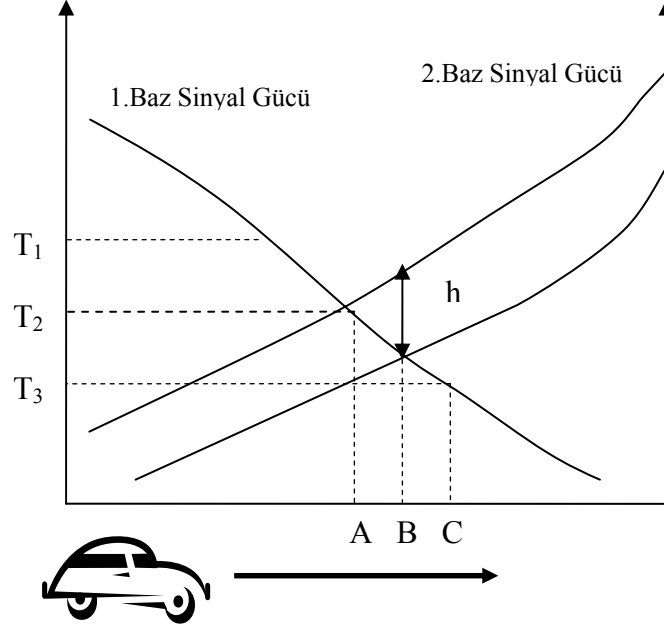
6.2 El Değiştirme Modeli

Simülasyonun uygulanmasında birbirine direkt olarak gören iki baz istasyonunun arasındaki el değiştirme baz alınmıştır. Yukarıdaki şekil 6.5 ten de görüleceği üzere köşe etkisine kalan bazlarda sinyal seviyesinin hızlı düşmesinden dolayı algoritmaların performansını karşılaştırırken el değiştirme sayısı sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple iki yöntemin karşılaştırılması basit olarak açıklamak için iki baz arasındaki sinyal değişimleri ele alınmıştır. Hareketli istasyonun direkt olarak görmediği bazlardan alınan sinyaller el değiştirme kararını etkilememektedir. Bu bazlar trafik ve interferansın ele alındığı bir çalışmada direkt olarak görülen bazların yetersiz kaldığı durumlarda hesaba katılabilir. LOS iki baz arasındaki ortalaması alınmış sinyal değişimleri “Şekil 6.8” de ki gibidir. Geleneksel sinyal gücü yöntemlerinde alınan sinyal güçleri (RSS) belirli aralıklarda ölçülerek bu ölçümlerin ortalaması alındıktan sonra iki sinyal arasında bir histeresiz koyularak seviye farkının belirli bir değerin üzerine çıktığı zaman el değiştirmenin yapılması sağlanır.

Eğer $RSS_{yeni} > RSS_{eski} + h$ ise yeni baza el değiştirme yap

Yukarıdaki kurala göre çalışan bir el değiştirme uygulaması yapılarak yapay sinir ağlarıyla histeresiz kullanan algoritma arasındaki farkı ölçmek için veriler elde edilmiştir. Histeresiz değeri 5 dB olarak alınmıştır. Bu değer optimum performans açısından seçilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda 2 ila 8 arasında değişen histeresiz değerleri görülmektedir. Düşük olarak

alınan değerlerde Ed sayısı oldukça artmaktadır. El değiştirme oranının azaltılması için yüksek alınan değerler ise gecikmeyi artırmaktadır.



Şekil 6.9 Geleneksel histeresiz kullanan yöntem.

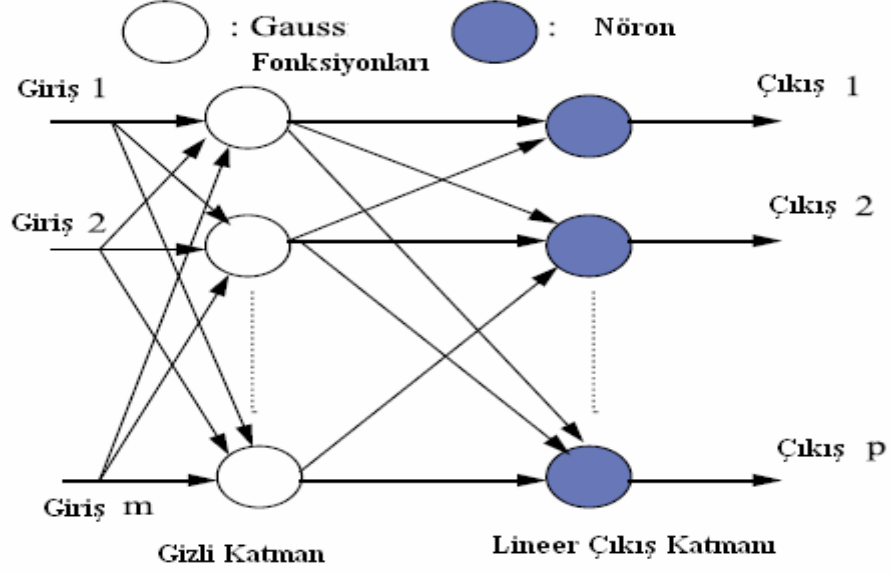
6.3 Kullanılan Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağıyla el değiştirmenin modellenmesinde başlangıçta MLP (Multi Layer Perceptron) ağı ile testler yapıldıktan sonra gösterdiği daha iyi performans sonucunda RBF (Radial Basis Function) ağlarıyla algoritma gerçekleştirilmiştir.

RBF Ağı

RBF ağları şekil 6.8 'de görüldüğü gibi 3 farklı katmandan oluşur. Giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı. Giriş katmanı giriş vektörlerinin ağı girdikleri katmandır. Bu katmanda hiçbir işleme yapılmaz. Gizli katman radyal temelli fonksiyonlar adı verilen birçok fonksiyondan oluşmuş farklı Gauss fonksiyonundan oluşur. Bu fonksiyonlar giriş katmanından gelen verileri gizli katman üzerine açarlar. Lineer olmayan radyal temelli fonksiyonlar sebebiyle bu dönüşüm lineer değildir. Çıkış katmanı ise lineer olarak gizli katman cevaplarını birleştirerek çıkış paterninin oluşturur.

RBF ağının parametreleri çıkış katmanındaki lineer ağırlıklar ve gauss fonksiyonların yerleri ve genişlikleridir. Öğrenme prosedürünü detayları için (Haykin,1994) e başvurulabilir. Temel olarak eğitici öğrenim modelinde RBF ağları parametreleri gradyant azalımı prosedürüne (LMS algoritmasının genellemesi) göre değişirler.



Şekil 6.10 RBF ağıının yapısı.

RBF ağlarında öğrenim aşaması, radyal temelli fonksiyonların merkezlerinin seçimi ve lineer ağırlıkların kararlaştırılması olarak iki ayrı fazdan oluşur. RBF merkezinin seçim metodlarından bazıları rasgele seçim, eğiticili seçim ve eğiticişiz seçimdir. Lineer ağırlıkların belirleme yöntemlerinden bazıısı ise pseudo-ters hafıza ve LMS algoritmasıdır.

6.4 6.4 Yapay Sinir Ağı Uygulaması

Bu çalışmada ağa 4 giriş uygulanmış ve 2 çıkış elde edilmiştir. Ağ öğrenim sırasında 25 nöron kullanmıştır.

Ağ Girişleri

Yapay sinir ağına alınan sinyaller ortalaması alındıktan sonra düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılarak gösterilmiştir. Sinyal seviyelerini daha fazla sınıfa bölmek mümkün olduğu gibi direkt alınan sinyallerin ağa gösterimi de mümkündür. Bu öğrenim aşamasında daha çok örnek girmeyi gerektirmektedir. Deneysel verilerin alındığı bir durumda bu yöntem daha iyi bir sınıflama optimizasyonu için kullanılabilir. Uygulamada aşağıdaki aralıklar için sinyal sınıflandırılmıştır.

RSS> -47 dBm → Yüksek sinyal seviyesi,

-47>RSS>-55 → Orta sinyal seviyesi,

RSS <-55 → Düşük sinyal seviyesi olarak alınmıştır.

Bu sinyal aralıkları ölçümlere göre değiştirilebilir. Aralıklar belirlenirken yayılma modelinin gösterdiği eğimden yararlanılmıştır. Ağ iki bazdan gelen sinyalleri bu aralıklara göre karşılaştırır.

Ayrıca ağa sinyal seviyesinden farklı olarak yön bilgisi de gösterilmiştir. Yön bilgisinin kullanılmasının amacı hareketli istasyonun hücrede bulunduğu yeri ve yönünü tahmin etmek amacıyla. Bu bilgiyi elde etmek için hareketli istasyondan gelen sinyaller 5 sn' lik aralıklarla ölçülüp ortalamaları alınmıştır. Bu veriler sonucunda eğer bu sinyaller azalıyor ve belirlenen hücre sınırındaki ortalama sinyal seviyelerine yaklaşıyor ise diğer baza doğru gittiği bilgisini elde etmekteyiz. Bu nedenle uzaklaşan hareketli istasyon el değiştirme yapması için teşvik edilir. Tam tersi durumda ise hareketli istasyon sinyal aldığı baz istasyonuna yaklaşmakta olduğundan hareketli istasyonun el değiştirme yapması istenmez. Ancak hareketli istasyonun uzaklaşmadığı veya orta noktalarda bulunduğu durumlarda iki bazdan gelen sinyaller arasında araya girebilecek engeller sebebiyle gölgeleme etkisinden kaynaklanabilecek büyük farklar olduğunda ise haberleşmenin kopmaması için el değiştirme yapılır. Hücre sınırlarından emin olmak için diğer bazdan gelen sinyalinde değişimi göz önünde bulundurulur. Eğer bağlı bulunan bazdan gelen sinyal azalıyor fakat arada diğer bazdan gelen sinyalde azalıyorsa bu diğer hücre sınırına yaklaşmadığımızı ve el değiştirmenin gerekli olmadığını gösterir. Bu durum yüksek olasılıkla gölgeleme etkisinden kaynaklanmaktadır.

Kriter şöyle özetlenebilir:

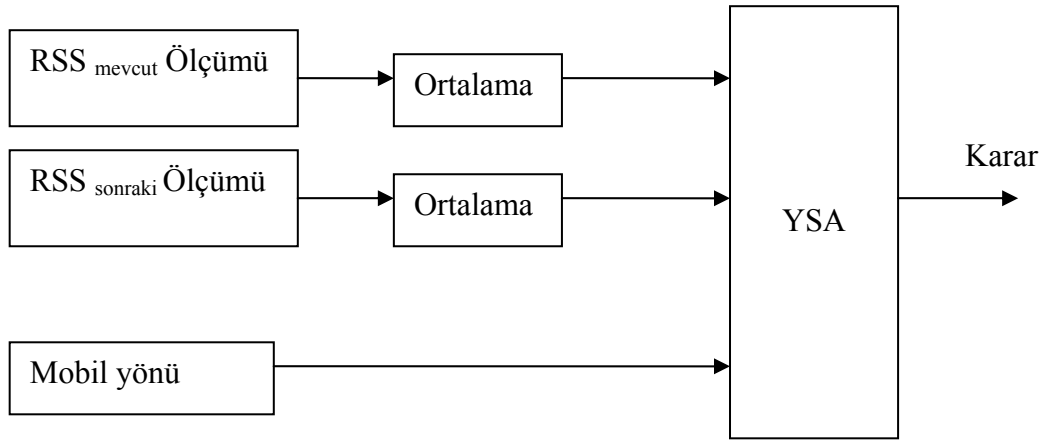
$(\text{Baz A RSS}(n) \downarrow) \& (\text{Baz A RSS} < \text{Hücre sınırındaki ortalama RSS}) \& (\text{Baz B RSS}(n) \uparrow)$

Mevcut Bazdan uzaklaşıyor

$(\text{Baz A RSS}(n) \uparrow) \& (\text{Baz A RSS} > \text{Hücre sınırındaki ortalama RSS}) \& (\text{Baz B RSS}(n) \downarrow)$

Mevcut Baza yaklaşıyor.

Yapay sinir ağına bu kriterler gösterilerek sinyal ölçümlerinden elde edilen verilerle ışığında hareketli istasyonun hangi bazdan hizmet alması gerektiği belirlenir. Böylece el değiştirmenin gerekli olduğu durumlarda el değiştirmenin yapılması istenir.



Şekil 6.11 Kullanılan Algoritma Yapısı.

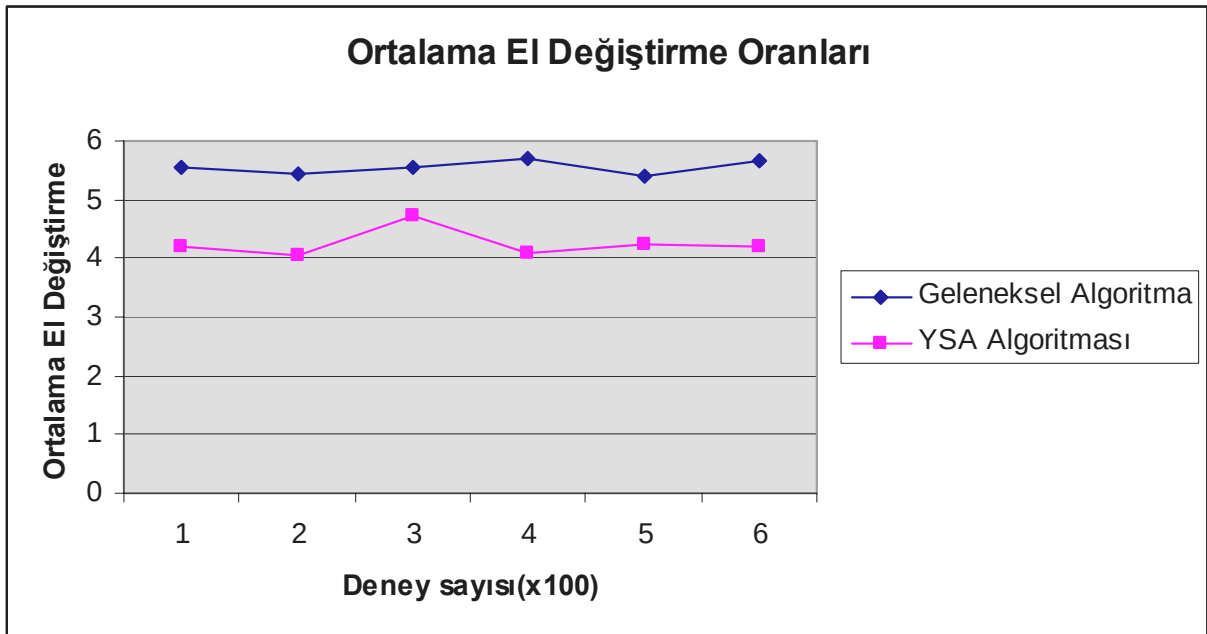
Çizelge 6.1 El değiştirme karar çizelgesi

Mevcut Baz RSS	Sonraki Baz RSS	Yön	El Değiştirme
Yüksek	Orta	Uzaklaşıyor	Ed Yapma
Yüksek	Orta	Yakınlaşıyor	Ed Yapma
Yüksek	Düşük	Uzaklaşıyor	Ed Yapma
Yüksek	Düşük	Yakınlaşıyor	Ed Yapma
Orta	Yüksek	Uzaklaşıyor	Ed Yap
Orta	Yüksek	Yakınlaşıyor	Ed Yapma
Orta	Orta	Uzaklaşıyor	Ed Yap
Orta	Orta	Yakınlaşıyor	Ed Yapma
Orta	Düşük	Uzaklaşıyor	Ed Yapma
Orta	Düşük	Yakınlaşıyor	Ed Yapma
Düşük	Orta	Uzaklaşıyor	Ed Yap
Düşük	Orta	Yakınlaşıyor	Ed Yap
Düşük	Yüksek	Uzaklaşıyor	Ed Yap
Düşük	Yüksek	Yakınlaşıyor	Ed Yap

Ağ Sonucu

Simülasyon 600 kez tekrar edilmiş ve her tekrarda elde edilen değerler yukarıdaki gibi girdi olarak RBF ağına gösterilip ağ sonucunda ortaya çıkan Ed kararlarının sayısı elde edilmiştir. Sonuçlar aşağıda “Şekil 6.12” da gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda geleneksel histeresiz kullanan yöntemle göre daha az el değiştirme sayısı elde edilmiştir. % 30 oranında ortalama el değiştirme sayısında azalma olduğu görülmüştür. Ağın bu problemi başarıyla

çözümleyebildiği ortaya çıkmıştır. Ağ farklı girdilerle geleneksel yöntemlere göre daha iyi performans gösterebilir. Trafik yoğunluğu, SIR ,BER,hız bilgilerin eklenmesi bu başarı oranı arttıracaktır. Bu bilgiler ışığında yapay sinir ağının kararlarıyla değişen bir histeresiz tasarlamakta mümkündür. SIR veya BER bilgileri mikro hücrelerde çok hızlı değiştiğinden sinyal gücüne dayanan bir modelleme sonrası elde edilecek bu değerler sinyal gücüyle aynı değişimi gösterdiğinden farklı bir kriter olmayacaktır. Trafik ve hız bilgilerin sağlıklı olarak kullanılması için geleneksel yönetim bu verilere göre performansı ölçülmelidir. Çünkü hızın ve trafiğin olduğu durumlarda en önemli performans kriteri gecikme ve bu gecikme sonrası kayıp çağrı oranının ölçülmesidir. Bu veriler daha kapsamlı ve çalışan sistemlerin performansını modelleyen simülasyonlarda sağlıklı veriler sunabilir. Yukarıdaki kullanılan yöntemde geleneksel sinyal gücüne dayanan algoritma ile aynı kriterden elde edilen verilerden oluşturulan algoritma kullanılarak daha adil bir performans ölçümü yapılmaya çalışılmıştır.



Şekil 6.12 Ortalama el değiştirme sayılarının karşılaştırılması.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada GSM El değıştirmenin yapay sinir ağılarıyla modellenmesi yapılmıştır. Geleneksel RSS kriteri ve histeresiz kullanan el değıştirme algoritması simülasyonla oluşturulmuştur. Bu algoritmaya göre performans artışı elde etmek için yapay sinir ağı modeli ortaya konulmuş ve RBF ağıyla uygulama gerçekleştirilmiştir. Ağın sonucu geleneksel yöntemden daha az sayıda el değıştirme sayısı elde ederek iyi başarımlar göstermiştir.

El değıştirme çalışmalarındaki önerilen algoritmaların performanslarının karşılaştırılması ve uygulanabilirliklerinin ölçülmesi için daha geniş kapsamlı simülasyonların tasarımı daha yüksek başarı oranları için gerekmektedir.

Gelecek çalışmalar için GSM simülasyonun geliştirilerek bu algoritmaya ek olarak şu anki algoritmada yer almayan SIR, hız ve trafik bilgisini içeren yapay sinir ağı algoritmasının performans ölçümü hedef alınmaktadır.

KAYNAKLAR

- Algans, A. Pedersen, K. I. and P.E. Mogensen, (2002) "Experimental analysis of the joint statistical properties of azimuth spread, delay spread, and shadow fading," *IEEE* pp. 523–531,.
- Amitay, N.(1992) "Modeling and computer simulation of wave propagation in lineal line-of-sight microcells," *IEEETrans. Vehic. Technol.*, Vol VT-41, No. 4, pp. 337–342, Nov. 1992
- Anderson, C.R. Rappaport, T.S. Bae, K. Verstak, A. N. Tamakrishnan, W. Trantor, C. Shaffer, and L.T. Waton,(2002) "In-building wideband multipath characteristics at 2.5 and 60 GHz," *Proceedings: IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 24-28, Sept. 2002.
- Austin M.D. and Stuber G. L.,(1994) "Velocity adaptive handoff algorithms for microcellular systems," in *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 43, no. 3, pp. 549-561, August 1994.
- Austin M. D. and Stuber, G. L. (1994)"Directed biased hando_ algorithm for urban microcells," in *Proc. 44th IEEE VTC*, pp. 101-5, 1994.
- Berg, J.-E. Bownds, R. and F. Lotse,(1992) "Path loss and fading models for microcells at 900 MHz," *Vehic.Technol. Conf. Rec.*, pp. 666–671, May 1992.
- Borjeson, H. Bergljung, C. and L.G. Olsson,(1992) "Outdoor microcell measurements at 1700 MHz," *Vehic.Technol. Conf. Rec.*, pp. 927–931, May 1992
- Bultitude R.J.C. and Bedal, G.K. (1989) "Propagation characteristics on microcellular urban mobile radio channels at 910 MHz," *IEEE SAC-7*, No. 1, pp. 31–39, 1989.
- Chan, G.K. (1991) "Propagation and coverage prediction for cellular radio systems," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, Vol VT-40, No. 4, pp. 665–670, Nov. 1991.
- Chia, S.T.S. (1991) "1700 MHz urban microcells and their coverage into buildings," *IEE Antennas Propagat. Conf Rec.*, pp. 504–511, York, U.K., April 1991.
- Cornett K.G.and Wicker, S. B.(1991) "Bit error rate estimation techniques for digital land mobile radios," in *Proc. 41st IEEE VTC*, pp. 543548,
- Chuah C.-N. and Yates R. D.,(1995) "Evaluation of a minimum power hando_ algorithm," in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 814-818,
- Dassanayake, P.(1994) "Dynamic adjustment of propagation dependent parameters in handover algorithms," in *Proc. 44th IEEE VTC*, pp. 73-76.
- Domazetovic, A. Greenstein, L.J. Mandayan, N. and I. Seskar,(2002) "A new modeling approach for wireless channels with predictable path geometries," *Proc. IEEE Vehic. Technol. Conf*,
- Edwards,G., Sankar,R., (1997)"A Predictive Fuzzy Algorithm for High Performance Microcellular Handoff" *IEEE* pp.987-990,
- Everitt, D. and S. G.H.(1995) "Performance of handover priority and queuing systems under different handover request strategies for microcellular mobile communication systems," in *Proc. 45th IEEE VTC*, pp. 897-901.
- Fantacci, E. D. and Ronga, L.,(1996) "A dynamic channel allocation technique based on hopfield neural networks," in *IEEE TVT* vol. 45 pp. 26-32,
- Furukawa H. and Akaiwa, Y. (1994) "A microcell overlaid with umbrella cell system," in *Proc. 44th IEEE VTC*, pp. 1455-59.

- Giancristofaro, D. Ruggieri, M. and. Santucci, F (2005) "Queuing of handover requests in microcellular network architectures," in Proc. 44th IEEE VTC, pp. 1846-1849, 1994.
- Goldsmith, A.J *Wireless Communications*, Cambridge University Press.
- Goldsmith A.J. and Greenstein, L.J.(1993) "A measurement-based model for predicting coverage areas of urban microcells," *IEEE J. S. A.Com.*, Vol. SAC-11, No.7, pp.1013–1023.
- Goldsmith, A. J.. Greenstein, L. J and Foschini, G.J. (1994) "Error statistics of real-time power measurements in cellular channels with multipath and shadowing," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 43, No. 3, pp. 439-446, Aug. 1994.
- Greenstein, L. and R. Gitlin,(1993) "A microcell/macrocell cellular architecture for low- and high-mobility wireless users," in IEEE JSAC, vol. 11,no. 6,pp. 885-891, Aug. 1993
- Grimlund O. and Gudmundson, B.,(1991) "Handoff strategies in microcellular systems," in Proc. 41st IEEE VTC, pp. 505-510, 1991.
- Gudmundson, M.,(1991) "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems," *Electr. Ltr.*, Vol. 27, pp.2145–2146, Nov. 7, 1991
- Gudmundson ,M.,(1992)"Cell planning in manhattan environments," in Proc. 42nd IEEE VTC, pp. 435-438, April 1992.
- Hanly, S.(1995) "An algorithm for combined cell-site selection and power control to maximize cellular spread spectrum capacity," in IEEE JSAC, 1995.
- Harley, P.(1989) "Short distance attenuation measurements at 900 MHz and 1.8 GHz using low antenna heights for microcells," in IEEE JSAC, vol. 7, pp. 5-11, Jan.1989.
- Hata M. and Nagatsu, T.,(1980) " Mobile location using signal strength measurements in cellular systems," in IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT 29, no. 2, pp. 245-252, 1980.
- Hata, M. (1980)"Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*,Vol VT-29, No. 3, pp. 317–325, Aug. 1980
- Holtzman ,J.M. and Sampath, A.,(1995) "Adaptive averaging methodology for handoffs in cellular systems," in IEEE Trans. on Veh. tech., vol. 44, no. 1, pp. 59-66,1995.
- Hoppe, R. Wolfle, G. and F.M. Landstorfer, (1999)"Measurement of building penetration loss and propagation models for radio transmission into buildings," *IEEE V T C*, pp. 2298–2302.
- Kapoor, G. E. V. and Sankar R., (1994) "Handoff criteria for personal communication networks," in Proc. ICC, pp. 1297-1301.
- Kawabata, K. Nakamura, T. and Fukuda E., (1994) "Estimating velocity using diversity reception," in Proc. 44th IEEE VTC, pp. 371-74.
- Kim ,S. K. ,, Kang, C.G., (2004) "A adaptive handover decision algorithm based on the estimating mobility from signal strength measurements" IEEE pp.1004-1008.
- Kinoshita Y. and. Itoh T, (1993) "Performance analysis of a new fuzzy hando_ algorithm by an indoor propagation simulator," in Proc. 43rd IEEE VTC, pp. 241-245.
- Lau, H. K., Liu, P. and K. C. Li, (1992) "Hanodff analysis for an integrated satellite and terrestrial mobile switch over a fading channel," in Proc. IEEE PIMRC,pp. 397-401.
- Lee, W. C. Y. (1993)*Mobile Communications Design Fundamentals* 2nd. Wiley & Sons
- Lee, W.C.Y. (1998) *Mobile Communications Engineering*. New York: McGraw-Hill,

- Leu, A.E., Mark, B., (2002) "Modeling and Analysis of Fast Handoff Algorithms for Microcellular Networks" IEEE (MASCOTS.02)
- Li, H.-J. Chen, C.-C T.-Y. Liu, and H.-C. Lin, (2000) "Applicability of ray-tracing techniques for prediction of outdoor channel characteristics," *IEEE Trans. V T*, pp. 2336–2349,
- Lin Y.-B., Chang L.-F., and A. Noerpel, (1995) "Modeling hierarchical microcell/macrocell pcs architecture," in Proc. ICC, pp. 405-9.
- Loo, C. and Secord, N. (1991) "Computer models for fading channels with applications to digital transmission," in IEEE Trans. Veh. Tech., vol. VT-40, pp. 700-707.
- Makela, J.P., and Pahlavan, K., (2005) "Performance of neural network handoff algorithm under varying mobile velocities" FINSIG'05
- Markopoulos, A. Pissaris P., Kyriazakos S (2003) "Optimized Handover Procedure based on Mobile Location in Cellular Systems" IEEE 2003 International Symposium.
- Marsan, M. and G.C. Hess, (1990) "Shadow variability in an urban land mobile radio environment," *Electronics Letters*, pp. 646–648, May 1990
- McCune E. and Feher, K. (1997) "Closed-form propagation model combining one or more propagation constant segments," *Proc. IEEE Vehic. Technol. Conf.*, pp. 1108–1112.
- Motley, A.J. and Keenan, J.M.P. (1998) "Personal communication radio coverage in buildings at 900 MHz and 1700 MHz," *Electronic Letters*, pp. 763–764, June 1988.
- Owen F.C. and Pudney, C.D (1988) "Radio propagation for digital cordless telephones at 1700 MHz and 900 MHz," *Electronic Letters*, pp. 52-53, Sept. 1988
- Okumura, T. Ohmori, E. and Fukuda, K. (1968) "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile service," *Review Electrical Communication Laboratory*, Vol. 16, No. 9-10, pp. 825–873, Sept.-Oct. 1968.
- Parsons, D. (1992) "*The Mobile Radio Propagation Channel*". New York: Halsted Press
- Pollini, G. P. (1996) "Trends in handover design," in IEEE Communications Magazine, pp. 82-90, March 1996.
- Poon L.-S. and Wang, H.-S. (1994) "Propagation characteristic measurement and frequency reuse planning in an office building," *Proceedings: IEEE V T C*, pp. 1807–1810, June 1994.
- Poon A. S. Y. and Brodersen, R. W. (2003) "The role of multiple-antenna systems in emerging open access environments," *EE Times Commun. Des. Conf.*, Oct. 2003
- Ransom, A. J. (1995) "Handoff considerations in microcellular systems planning," in Proc. PIMRC, pp. 804-808, 1995.
- Rappaport, T.S. (2001) "*Wireless Communications - Principles and Practice*, 2nd Edition," Prentice Hall,
- Remley, K. A., Anderson, H. R and A. Weissnar, (2000) "Improving the accuracy of ray-tracing techniques for indoor propagation modeling," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, pp. 2350–2358, Nov. 2000
- Sampath A. and Holtzman, J. M. (1994) "Adaptive handoffs through estimation of fading parameters," in Proc. ICC, May 1994.
- Shapira, J. (1994) "Microcell engineering in CDMA cellular networks," in IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 43, no. 4, pp. 817–825, Nov. 1994.
- Stuber, G. (2001) "*Principles of Mobile Communications*, 2nd Ed.", : Kluwer Academic Press.

- Seidel, S. Y. and Rappaport, T. S. (1992) "914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 207–217,
- Seidel, S. Y., Rappaport, T. S., Feuerstein, M.J., Blackard, K.L., L. Grindstaff, (1992) "The impact of surrounding buildings on propagation for wireless in-building personal communications system design," *Proceedings: IEEE VTC*, pp. 814–818, May 1992.
- Seidel, S.Y., Rappaport, T.S., Jain, S., Lord, M.L. and R. Singh, (1991) "Path loss, scattering, and multipath delay statistics in four European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol VT-40, No. 4, pp. 721–730, Nov. 1991.
- Suleesathira, R., and Kunarak, S., (2005) "Neural Network Handoff in Shadow-Rayleigh Fading" *IEEE* pp. 5146–5149,
- Tarng, J.H., Liu, W.-S., Huang, Y.-F. and J.-M. Huang, (2003) "A novel and efficient hybrid model of radio multipath fading channels in indoor environments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* pp. 585–594,
- Tekinay, S., and Jabbari, B. (1992) "A measurement-based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks," in *IEEE JSAC*, vol. 10(8), October 1992.
- Toledo, A.F., and Turkmani, A.M.D. (1992) "Propagation into and within buildings at 900, 1800, and 2300 MHz," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 633–636, May 1992
- Toledo, A.F., Turkmani, A.M.D. and J.D. Parsons, (1998) "Estimating coverage of radio transmission into and within buildings at 900, 1800, and 2300 MHz," *IEEE PCC*, pp. 40–47,
- Tripathi, N.D., Reed, J. H., VanLandingham H. F. (1999) "Adaptive handoff algorithms for cellular overlay system using fuzzy logic" *IEEE*, pp. 1413–1418.
- Tripathi, N.D., Reed, J. H., VanLandingham H. F. (1998) "An adaptive direction biased fuzzy handoff algorithm with unified handoff candidate selection criterion" *IEEE*, pp. 127–131,
- Tripathi, N.D., Reed, J. H., H. F. VanLandingham, (1998) "Pattern classification based handoff using fuzzy logic and neural nets" *IEEE*, pp. 1733–1738,
- Turin, W., Jana, R., S.S. Ghassemzadeh, V. W. Rice, V. Tarokh, (2002) "Autoregressive modeling of an indoor UWB channel," *Proc. IEEE Conf. UWB Syst. Technol.*, pp. 71–74,
- R. Vijayan and J. Holtzman, (1993) "Sensitivity of handoff algorithms to variations in the propagation environment," in *Proc. 2nd IEEE Intl. Conf. on U.P.C.* Oct. 1993.
- Wagen, J.-F. (1991) "Signal strength measurements at 881 MHz for urban microcells in downtown Tampa," *Globecom Conf. Rec.*, pp. 1313–1317, Dec. 1991.
- Walfisch J. and Bertoni, H.L. (1988) "A theoretical model of UHF propagation in urban environments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 1788–1796, Oct. 1988.
- Wang, S. S. (Peter) and Wu, Chih-Hao (2001) "Effective handoff method using mobile location information" *IEEE VTC* 01 pp. 2585–2589,
- Weitzen J. and Lowe, T. (2002) "Measurement of angular and distance correlation properties of log-normal shadowing at 1900 MHz and its application to design of PCS systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 265–273, March 2002.
- Whitaker, J.H. (1988) "Measurements of path loss at 910 MHz for proposed microcell urban mobile systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol VT-37, No. 6, pp. 125–129, Aug. 1988.
- Yang, L., Huang, Z., Wang, W., (2005) "Fuzzy logic based handover in MC-CDMA system" *IEEE* pp. 5158–5161, 2005
- Zhang N. and Holtzman, J. (1994) "Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative measurements," in *Proc. 44th IEEE VTC*, vol. 1, pp. 82–86, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.10.1979

Doğum yeri İSTANBUL

Lise 1994-1997 KULELİ AS. LİSESİ

Lisans 1998-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar):

2004-2006 Tekofaks Teknik A.Ş