

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GSM 900 BANDINDA KOMŞULUK İLİŞKİLERİNİ
KULLANARAK OPTİMAL FREKANS PLANLAMA

HAKAN KAVLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
2009

**GSM 900 BANDINDA KOMŞULUK İLİŞKİLERİNİ
KULLANARAK OPTİMAL FREKANS PLANLAMA**

**OPTIMAL FREQUENCY PLANNING BY UTILIZING
NEIGHBOURHOOD RELATIONS IN GSM 900 BAND**

HAKAN KAVLAK

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.
2009

OCAK, 2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Üye (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Doğan

Üye (Başkan)

Yrd. Doç. Dr. Hamit Erdem

Üye

Yrd. Doç. Dr. Erol Şahin

ONAY

Bu tez 26/01/2009 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

/ /2009

Prof.Dr. Emin AKATA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

TEŞEKKÜR

Çalışmamda gerek değerleri görüşleri ve engin bilgisi gerek yarattığı büyük motivasyonla en iyiye ulaşmamı hedefleyen danışmanım ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa Doğan'a, çalışmamın fikir babası Yrd. Doç. Dr. Hamit Erdem'e, gerekli test ortamını sağlayan, canlı bir şebekede bu sonuçları uygulama konusunda sonuna kadar bana güvenen ve geliştirmeye her zaman destek olan "Turkcell Radyo Şebeke Ailesine", her türlü desteği için Fahrettin Ateş'e teşekkürlerimi sunarım.

Sevgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, can yoldaşım eşim Saadet'e, hayat kaynağım oğlum Ozan'a da sonsuz teşekkürler

ÖZ

GSM 900 BANDINDA KOMŞULUK İLİŞKİLERİNİ KULLANARAK OPTİMAL FREKANS PLANLAMA

Hakan Kavlak

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

GSM sisteminde, iletişim tekniğinin temelini oluşturan zaman bölmeli çoklu erişim modeli ve mevcut frekans bandı kullanılarak ancak sınırlı sayıda kullanıcıya hizmet verilebilir. Kullanıcının artması ile havada bulunan frekans sayısı da artacağından sinyallerin birbirine girişimi artacak ve başta ses kalitesinde olmak üzere tüm şebeke figürlerinde kötüleşmeler oluşacaktır. Bu nedenle istasyonda bulunan her hücrenin tüm frekansları gerek kendisi gerek çevresindeki diğer hücreleri bozmayacak şekilde planlanmalıdır. Kaynağın az, ihtiyacın fazla olması nedeniyle frekansların tekrar kullanım sıklığının yüksek olduğu yerlerde elle frekans atanması da imkânsızdır.

Bu tez çalışmasında, hücrelerin birbirini etkileme durumlarına göre frekansların otomatik olarak belirlenmesini sağlayacak bir algoritma geliştirilmiştir. Özellikle çevre bilgisi, hücrenin yoğunluğu, çevresindeki diğer hücreler ile ilişkileri göz önünde tutularak frekansların en uygun şekilde dağıtılması sağlanmıştır. Hücrelerin birbirine etkisi tahmini değil, şebekeden canlı ölçümler alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca önerilen uyarlamalı eşik yöntemi ve döngüsel algoritma en kısa sürede, en doğru sonucu verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışma gerek canlı şebeke verilerinin kullanılması, gerek uyarlamalı eşik denetimiyle daha önce bu konuda yapılan çalışmalardan ayrılmaktadır.

Çıkan temiz frekans sonuçları ise Yozgat il merkezinde bulunan hücrelere uygulanarak şebeke performansı ölçülmüştür. Konuşma çağrı başarı kurma, konuşmaya devam edebilme ve kaliteli konuşma ana temel göstergelerinde iyileşmeler sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: GSM, Frekans Planlama, Optimizasyon, ICDM, Komşuluk ilişkileri, Uyarlamalı Eşik

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Mustafa Doğan, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

OPTIMAL FREQUENCY PLANNING BY UTILIZING NEIGHBORHOOD RELATIONS IN GSM 900 BAND

Hakan Kavlak

Başkent University Institute of Science

The Department of Electrical and Electronics Engineering

In GSM, time division multiple access technique the number of active subscribers should be restricted. Increasing the subscribers cause to increase the frequency in the air which degrade the speech quality and other system quality figures. Because of this all frequencies of all cells' in a base station must be selected carefully. Since the number of frequencies is low with respect to the demand frequency reuse is very high in city center so that it is impossible to assign frequencies manually.

In this research, automatic frequency planning algorithms are tried by using inter-cell dependency. In fact the cell environment, traffic of the cell and the relationship in between the neighbor cells are considered while assigning clear one. The inter cell dependency value is determined from real network not through on estimation algorithm. Also by using adaptive thresholding method, the efficiency of the proposed algorithm is improved significantly. Live network inter cell dependency measurements and the iterative algorithm that uses adaptive thresholding method are the main contributions and constitute the novelty of this work.

The resulted frequency plan tested in Yozgat city center's cells and network performances are examined. Main key performance indicators such as call setup success rate, retainability and integrity values are successfully increased.

Keywords: GSM, Frequency Planning, Optimization, Adaptive Thresholding, ICDM, Adaptive Thresholding, Neighborhood Relations

Advisor: Asst. Prof. Mustafa Doğan, Başkent University, The Department of Electrical and Electronics Engineering.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. GSM ağ yapısı.....	4
2.1. GSM'in Tarihçesi.....	4
2.2. Türkiye'de GSM	5
2.3. GSM Sistem Standartları.....	6
2.4. Erişim Metodu	6
2.5. Modülasyon.....	6
2.6. GSM'in Avantajları	6
2.7. Hücresel Ağ.....	7
2.7.1. Hücresel yapı.....	7
2.7.2. Ağ planlaması	8
2.7.3. Hücreleri ayırma ve mikro hücre uygulaması	9
2.8. GSM Hava Arayüzü İletişim Ağı Birimleri	9
2.8.1. Hücreler	10
2.8.2. Mobil istasyon terminal cihazı (MS – Mobile station)	10
2.8.3. Abone kimlik modülü (SIM-Subscriber identity module).....	10
2.8.4. Baz alıcı-verici istasyonu (BTS).....	11
2.8.5. Baz istasyon denetleyicisi (BSC)	11
2.8.6. Mobil servisler anahtarlama merkezi (MSC)	11
2.8.7. İşletme ve bakım merkezi (OMC)	12
2.9. Arama Kurulumu.....	12
2.10. El Değiştirme – Aktarma (Handover - Handoff).....	13
2.11. Sayısal Radyo İletiminde Yaşanan Problemler Ve Çözümler.....	16
2.11.1. Zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA)	17
2.11.2. Transmisyon problemleri	18
2.11.2.1.Yol kaybı	18
2.11.2.2.Zayıflama	19
2.11.2.3.Zaman ayrılması	22
2.11.2.4.Zaman ayarlaması	23
2.11.3. Transmisyon problemlerine çözümler	23
2.11.3.1.Anten (veya uzay) farklılığı	25
2.11.3.2.Frekans atlaması (frequency hopping)	25
3. SAYISAL RADYO (HAVA) ARAYÜZÜ	26
3.1. Kanal Kavramı.....	27
3.1.1. Kontrol kanalları.....	28
3.1.1.1.Yayın kanalları (BCH)	28
3.1.1.2.Ortak kontrol kanalları (CCCH)	29
3.1.1.3.Tahsis edilmiş kontrol kanalları	30
3.1.2. Trafik kanalları (TCH)	30
3.2. GSM'de Arama İşlemi Örneği	31
3.2.1. Çağırma (Paging)	33

3.2.2.	SDCCH'in acele tahsisi (Immediate assignment)	34
3.2.3.	Doğrulama ve şifreleme (Authentication and ciphering)	34
3.2.4.	Trafik kanalının tahsisi	35
3.2.5.	Aktarma (Handover)	36
3.2.6.	İç aktarma (Internal handover).....	37
3.2.7.	Silme (Clear).....	38
4.	FREKANS ATAMADA KULLANILACAK ÖLÇÜTLER	39
4.1.	Hücre Trafiği	39
4.2.	Aktarma (Handover)	41
4.3.	Hücre Çevre Bilgisi.....	41
4.4.	Frekans Atama Destek Sistemi (Frequency Allocation Support – FAS)	42
4.4.1.	Uplink ölçümleri (FAS Results)	42
4.4.2.	Downlink ölçümleri (ICDM results).....	42
4.4.3.	Kirlenen trafik yüzdesi (Percentage interferred traffic –PIT).....	45
4.5.	Temel Performans Göstergeleri	47
4.5.1.	Çağrı başarı kurma yüzdesi (Call setup success rate – CSSR).....	47
4.5.2.	Çağrı sürdürülebilirliği (Retainability)	48
4.5.3.	Konuşma kalitesi (Integrity).....	49
5.	FREKANS ATAMA ALGORİTMASI	50
5.1.	Hücre Frekans Zorluğu Bulma Önceliği	51
5.1.1.	Frekans zorluğu ve kirlilik hesaplaması	52
5.2.	Frekans Atama Süreci	56
5.2.1.	Frekans atama algoritması çalışma prensibi.....	56
5.3.	Frekans Planlama Programının Çalışması ve Karşılaştırmalar	59
5.3.1.	Program çıktısı.....	59
5.3.2.	Program performansını etkileyen faktörler	59
5.3.1.	Programın çalışma sınırlarının belirlenmesi.....	61
5.3.1.1.	Zorluk derecesine göre sıralama yapılmadan rastgele bir sırada frekans atanarak hücre seçilmesi	61
5.3.1.2.	Zorluk derecesine göre sıralama yapılarak ilk hücreye atanacak frekans kümesinin değiştirilmesi.....	62
5.3.1.3.	Değişik hücre sayılarında programın hesaplama hızının ve güvenilirliğinin belirlenmesi	62
5.3.2.	Programın diğer frekans planlama programları ile karşılaştırılması	64
6.	FREKANS ATAMA SONUCUNUN DENEYSEL UYGULAMASI.....	65
6.1.	Deney Alanı	65
6.2.	Deney Uygulaması.....	66
6.2.1.	Deney sonrası saha kontrolleri	66
6.2.2.	Anahtar performans gösterge kontrolleri.....	68
7.	SONUÇ	71
	KAYNAKLAR LİSTESİ	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 - Aynı frekanslara sahip olamayan komşu hücreler	8
Şekil 2.2 - Hücreleri ayırma ve mikro hücreler	9
Şekil 2.3 - Mobil çıkışlı arama kurulumu prosedürü	13
Şekil 2.4 - BTS'ler arası aktarma	15
Şekil 2.5 - MSC'ler arası aktarma	16
Şekil 2.6 - Girişen işaret	17
Şekil 2.7 – a) FDMA b) TDMA.....	18
Şekil 2.8 - Log-normal zayıflama.....	19
Şekil 2.9 - Rayleigh zayıflaması.....	20
Şekil 2.10 - Mesafe ile Rx işaret gücü ilişkisi	21
Şekil 2.11 - Rx işaret gücü.....	21
Şekil 2.12 - Zaman ayrılması	22
Şekil 2.13 - İşaret işleme blokları	24
Şekil 2.14 - Anten farklılığı.....	25
Şekil 2.15 - C ₁ ve C ₂ frekansları arasında frekans atlama	26
Şekil 3.1 - Bir radyo kanalı üzerindeki yukarı ve aşağı link.....	27
Şekil 3.2 - TDMA kanal kavramı	27
Şekil 3.3 - Mantıksal kanallar.....	28
Şekil 3.4 - MS'e gelen bir aramanın işaretleşme sırası (1. Kısım)	31
Şekil 3.5 - MS'e gelen bir aramanın işaretleşme sırası (2. Kısım)	32
Şekil 3.6 - BSS temel dahili arama yönetimi.....	32
Şekil 3.7 - MS'e bir arama - Çağırma ve Acele Tahsis	33
Şekil 3.8 - SDCCH üzerindeki Doğrulama ve Şifreleme Emri Mesajları	35
Şekil 3.9 - MS'i arama - TCH Tahsis Etme Prosedürü.....	36
Şekil 3.10 - BSS içi aktarma	38
Şekil 3.11 - Silme için BSS işaretleşmesi	39
Şekil 4.1- Yan kanal girişim etkisi	44
Şekil 4.2- Aynı kanal girişim etkisi.....	44
Şekil 4.3- ICDM Matrisinin ataması	45
Şekil 4.4 - PIT Hesaplaması	46
Şekil 5.1 Frekans Planlama Algoritması.....	58
Şekil 5.2 Frekans Planlama Programı Çıktısı	59
Şekil 5.3 Kirlilik Eşik Adım Değişim Tipleri ve Değerleri	61
Şekil 5.4 Kirlilik Eşik Adımı Değişimi ile Çalışma Süresi-Kirlilik Değişimi	61
Şekil 5.5 Yoğun bölgede hücre sayısı değişiminin hesaplama süresine etkisi	63
Şekil 5.6 Çok yoğun bölgede hücre sayısı değişiminin hesaplama süresine etkisi ..	63
Şekil 5.5 Frekans Planlama Metotlarının Karşılaştırılması	65
Şekil 6.1 Test güzergahı	66
Şekil 6.2 Ölçüm Sonuçları	67
Şekil 6.3 Kalite dağılımı	67
Şekil 6.4 Çağrı Başarı Kurma Değişimi.....	68
Şekil 6.5 Çağrı Kalite Değişimi	70

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü- American National Standards Institute
BCCH	Yayın Kontrol Kanalı- Broadcast Control Channel
BCF	Baz Kontrol Fonksiyonları- Base Control Functions
BSC	Baz İstasyon Denetleyicisi- Base Station Controller
BSIC	Baz İstasyon Kimlik Kodu- Base Station Identity Code
BSS	Baz İstasyon Sistemi- Base Station System
BTS	Baz Alıcı/Verici İstasyonu- Base Transceiver Station
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim- Code Division Multiple Access
CEPT	Avrupa Posta ve Telgraf Konferansı- Conference of European Posts and Telegraphs
CGI	Hücre Küresel Kimliği- Cell Global Identity
FAS	Frekans Atama Destek-Frequency Allocation Support
FCCH	Frekans Düzeltme Kanalı- Frequency Correction Channel
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim- Frequency Division Multiple Access
GMSK	Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama- Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	Genel Amaçlı Radyo Paket Hizmeti- General Packet Radio Service
GSM	Küresel Mobil İletişim Sistemi- Global System for Mobile Communications
HLR	Dahili Yer Kaydedicisi- Home Location Register
ICDM	Çevre-Hücre Bağımlılık Matrisi-Inter-Cell Dependency Matrix
ISI	Ara simge Girişimi- Inter Signal Interference
MS	Mobil İstasyon- Mobile Station
MSC	Mobil Hizmetler Bağlaşma Merkezi- Mobile Services Switching Center
PCH	Çağırma Kanalı- Paging Channel
PIT	Girişime Uğrayan Trafik Yüzdesi-Percentage Interfered Traffic
RACH	Rastgele Erişimli Kanal- Random Access Channel
RBS	Radyo Baz İstasyonu-Radio Base Station
Rx	Gelen Sinyal-Received Signal
TCH	Trafik Kanalı- Traffic Channel
TDD	Zaman Bölmeli Dupleks- Time Division Duplex
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim- Time Division Multiple Access
TRX	Alıcı/Verici- Transceiver
TS	Zaman Dilimi- Time Slot
Tx	Gönderilen Sinyal-Transferred Signal
UMTS	Evrensel Mobil Haberleşme Hizmeti- Universal Mobile Telecommunication Service

1. GİRİŞ

Teknolojinin içinde insana en yakın olan ve insanların en çok kullandığı İletişim teknolojileri çağımızın vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. İletişimi bu derece hızlı ilerlemesini sağlayan ise mobil yani hareketli halde konuşabilmek olmuştur. GSM sistemi ise dünyada en çok konuşuran, en çok abonesi olan mobil iletişim teknolojisidir. Her ne kadar GSM data taşımada yetersiz kalsa da insanların temel gereksimi olan konuşma talebini kendisinden önceki teknolojilere göre en iyi şekilde taşıyan sistem olmuştur. Yeni gelen sistemler ses taşımadan çok veri taşıma hızında GSM'e üstünlük taşımaktadır. Üstün ses taşıma özelliği sayesinde GSM'in gelecekte de dünya pazarlarında mevcudiyetini sürdürecektir.

GSM kullanılan frekans bandına göre isimler almaktadır. Türkiye'de hem 900 MHz bandı hem de 1800 MHz bandı değişik operatörlerce kullanılmaktadır. Çalışmanın konusu 900 MHz bandında olduğundan açıklamalar bu bant sistemi üzerinden anlatılmıştır. Çalışma prensibi olarak GSM 900 ile GSM 1800 arasında bir farklılık yoktur.

GSM iletişim sistemi frekans ve zaman bölme çoğullamasını kullanmaktadır (TDMA & FDMA). Bir frekans gerek çok-yollu sönmleme (multipath fading) gerek doppler etkisinden dolayı TDMA uygulanarak en fazla 8 abonenin konuşmasına olanak sağlar.[5] GSM bandında toplam 124 frekans mevcuttur. Türkiye'de bu frekansların 50 tanesi Turkcell, 50 tanesi Vodafone operatörlerince kullanılmaktadır.

GSM iletişim sisteminin önünde bulunan en büyük problem, şebekede birbirini etkileyen ve çok fazla frekansa ihtiyaç duyan hücrelerin frekanslarının belirlenmesidir. GSM bandında bulunan 50 frekansın farklı sayıda frekans ihtiyacı olan hücreler arasında el ile dağıtılması imkânsızdır. Ayrıca bir hücreye atanan frekansların, çevre hücrelerdeki atanacak frekansları da etkileyerek ve domino etkisi yaratacaktır. O halde frekansların hem uygun dağıtılması, hem de hangi sırada hücrelere frekans atanacağının önceliği belirlenmelidir.

GSM frekans planlama teknikleri üzerinde diğer çalışmalarda daha çok yapay sinir ağları veya renk paylaşırma algoritmaları kullanılmıştır. [19, 20, 24, 25, 26, 27,

28,29, 30]] Bu alışmalar genel olarak çok sayıda deneme yaparak en uygun değere erişmeye çalışmıştır. Bu nedenle de sonuç almak çok gecikmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda hücrelerin birbirlerinin etkileşim durumunu ölçmek yerine, el değiştirme (handover) sayısı kullanılmıştır. [21, 28, 29, 30]. El değiştirme sayısının hücrelere birbirine yakın olma anlamında doğru bir bilgi iken, birbirlerini etkileme yani girişim seviyesi anlamında çok doğru bir bilgi vermemektedir [31]. Bir diğer algoritma ise hücrelere eşit sayıda frekans atayarak grup yapısı oluşturmak ve grupları renk ayırma metodu ile yan yana gelmeyecek şekilde planlamaktır [27]. Bu durumda tüm hücrelerin kullanacak frekans sayılarının eşit olması zorunluluğu ile uygun grup yapısının sağlanması mecburiyeti bulunmaktadır. Normal bir şebekede, eşit sayıda frekansa sahip olan ve uygun grup şeklini bulunan bir yapıyı sağlamak olanaksızdır.

Bu çalışmada geliştirilen algoritma sayesinde, frekans etkilenme durumu belirlenerek, hücrelere en uygun frekansların atanması sağlanmıştır. Denetim algoritması ile frekans atanırken atanacak frekansların kötüleşmesini sürekli hesaplayarak mevcut sistemde kirli hale gelmiş frekanslara müdahale sağlanmıştır. Her seferinde tüm hücreler yerine, sadece gerekli hücrelere müdahale edilmiş ve süreç hızlandırılmıştır. Önerilen algoritma sayesinde, sırayla atanan frekanslarda belli bir süre sonra kirliliğin artması ile mevcut atanmış frekansların bozulmaya başlandığı tespit edilirse, atanmış bu frekansların tekrar daha temiz frekanslara atanması sağlanacaktır.

Çalışma için kullanılan sistem ile bir hücrenin çevresindeki tüm istasyonların birbirlerini etkileme ve etkilenme oranını, diğer hücrelere olan uzaklığını, komşu olarak tanımlanmamış bir hücrenin kaç defa sinyal seviyesinin ölçüldüğü bilgisini, hücrenin sinyalinin ne kadar uzağa gidebildiğini, abonelerin genelde hangi seviyede sinyal ile konuştuklarını ve hangi uzaklıkta olduklarının bilgisi toplanabilmektedir. [1,2, 11, 12, 13, 31] Kullanılacak veri tabanı Ericsson sisteminde bulunan ve ICDM/FAS/PIT adını taşıyan 3 farklı ölçümden oluşmaktadır. Böylece toplanan verilerin güvenirliliği son derece yüksek olacaktır. [2,9,18, 31]

Önerilen algoritma ile sistem döngüsel olarak yeni atanan ve atanmış hücrelerin frekanslarını kontrol etmekte, kontrol sonucu kirlilik durumuna göre kirliliği bir

hücre yerine çevresindeki hücrelere dağıtarak yoğun kirliliği önlemeye amaçlamıştır. Sistemin hızlı çalışması için her adımda en az hücreye müdahale edecek olan algoritma aynı zamanda belirli denetimler ve uyarlamalı eşik değerleri ile döngü içinde kilitlenmemeyi sağlayacaktır. Ayrıca eşik sisteminde yapılan denetim ile de eşğin uyarlanmış olarak değişmesi ve her hücre için en ideal frekans atamasını bulana kadar işlemin döngüsel olarak devam etmesi sağlanmıştır. Uyarlamalı eşik daha çok görüntü işleme tekniklerinde görüntüyü kirliliği ortamdaki ayırt etmek için kullanılan bir yöntemdir. [22,23] Tez için kullanılan yöntem ile eşik değeri gerekli uygunlukta seçilip sistemin döngüde kilitlenmesi ve eşğin aşırı yükseltildiğinde ideal frekansları bulamama arasındaki ikilemi en ideal şekilde çözülmüştür. Bununla beraber frekans atayamayacağı çok riskli hücreleri belirterek donanımsal çalışmaların yapılması önerisi de ayrıca getirilmiştir.

Tezin ilk bölümlerinde GSM sisteminin çalışması ve Türkiye'deki GSM iletişiminin altyapısı anlatılmaktadır. Sistemin çalışma detayları, kullanılan şebeke elemanları görevleri ve yapıları anlatılmıştır. İkinci bölümde gezgin iletişimin karşısında duran temel problemlerden bahsedilmiş ve bu problemlerin çözümü için kullanılan tekniklerden bahsedilmiştir. Bir sonraki bölümde, hava ara yüzü ve bu arayüzde kullanılan kanalların görevlerinden, çağrı kurma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra frekans atama algoritmasında kullanılacak olan önemli ölçütlerden bahsedilmiştir. Bu ölçütlerin kullanımı algoritmanın daha önce frekans planlama için kullanılan tekniklerden çok daha doğru sonuç vermesini sağlamıştır. Bir sonraki bölümde ise şebeke performansının nasıl ölçüldüğü ve şebekede yapılan frekans atamasının verimliliği, temel performans göstergeleriyle açıklanmıştır. Daha sonra frekansların atama algoritması ve uyarlamalı eşğin çalışma ilkeleri verilmiş, en sonda ise bu sonuçların gerçek dünyada uygulanmasının sonuçları ve temel göstergelerdeki iyileştirmeler açıklanarak, incelenmiştir. Son olarak yapılan çalışmalar ve elde edilen veriler neticesinde algoritmanın verimliliğini ve çalışma kapasitesini arttıracak çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

2. GSM AĞ YAPISI

GSM ('Global System For Mobile Communications' - Küresel Mobil İletişim Sistemi), son yirmi yılda hızla gelişmiş olan ve çok talep gören bir iletişim teknolojisidir. Küreselleşme sürecine giren dünyamızda bu süreci en çok hızlandıran etken iletişim teknolojileri olmuştur ve bunda GSM' in payı büyüktür. Her ne kadar UMTS ve WIMAX data hızını GSM'e göre kat ve kat yükseğe taşıdıysa da, GSM ses taşımasında halen önemini özellikle Türkiye'de koruyan bir iletişim sistemidir.

2.1. GSM'in Tarihçesi

GSM'in tarihi 1982'de Nordic PTT'sinin Avrupa Posta ve Telgraf Konferansı 'na (CEPT - Confrance of European Posts and Telgraphs) 900 Mhz'de Avrupa'yi kapsayan genel bir telekomünikasyon servisi kurulması teklifi ile başlamıştır. Daha sonra Mobil Uzmanlık Grubu (Group Special Mobile) adı altında bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Konferans sırasında oluşturulan bu çalışma grubunun amacı, Avrupa çapında, 900 Mhz aralığında işleyecek olan, kamuya açık bir hücrel iletişim sistemi oluşturmak olmuştur.

Hücrel telekomünikasyon, telekomünikasyon uygulamalarının en hızlı gelişeni ve en çok talep görenidir. Tüm dünyada yeni telefon aboneliklerindeki en büyük yüzde payı hücrel telekomünikasyon uygulamalarında ve sürekli artmaktadır. Birçok hususta hücrel çözümler, ticari kablo ağları ve kablosuz telefonlarla boy ölçüşebilmektedir. Önümüzdeki uzun vade perspektifte hücrel sistemler, sayısal teknolojiyi kullanarak, telekomünikasyonun evrensel bir metodu olacaktır.

Sayısal radyo transmisyonu kullanımı ve GSM şebekelerdeki ileri algoritmik iletişim, analog hücrel sistemlerden daha mükemmel bir frekans kullanımı sağlar. Dolayısıyla sürekli artan abonelere daha iyi hizmet sunulmuş olur. GSM genel bir standardı sağlamakla birlikte, hücrel aboneler, telefonlarını (en genel olarak terminal veri iletişim cihazlarını) bütün GSM servis alanı üzerinde kullanabileceklerdir. Bu haberleşme dolaşımı, GSM sistemleri içeren ülkelerde ve bu ülkeler arasında otomatik olarak gerçekleşir.

Uluslararası dolaşıma ek olarak, yüksek hızda veri haberleşmesi, kopyalama ve kısa mesaj hizmetleri gibi yeni kullanıcı servisleri sağlar. GSM'in teknik standartları ISDN vb. diğer standartlarla uyum içinde çalışabilecek şekilde hazırlanmıştır.

1982–1985 yıllarında sayısal veya analog sistem kurulması konusunda tartışmalar vardı. Görüşmeler sonrasında 1985'de sayısal sistemde karar kılınmıştır. Bundan sonraki basamak ise dar bant çözümü veya geniş bant çözümü seçme meselesi olmuştur. 1986'da Paris'te farklı şirketlerin farklı çözümlerle boy ölçüşebilecekleri bir ortam oluşmuştur. 1987'nin Mayıs ayında dar bant TDMA (Time Division Multiple Access) çözümünde ortak karara varılmıştır. Aynı zamanda 13 ülke sistemin belli kaidelerine ve özelliklerine uyacakları bir protokol imzalamışlardır. (MoU - Memorandum of Understanding). Dolayısı ile büyük bir potansiyel piyasa ortaya çıkmıştır. Bu ülkeler anlaştıkları şekilde bir GSM sistemi faaliyete geçirmek için 1 Temmuz 1991 tarihini belirlemişlerdir.

2.2. Türkiye’de GSM

Tüm dünyada ticari hizmetler 1991 'in ortalarında başlamıştır. Bu sırada GSM 1800 standartları da ortaya çıkmıştır. 1992 yılında ilk uluslararası dolaşım anlaşması Finland Telecom ile Vodafone UK arasında imzalanmıştır. 1993'te Avrupa dışından ilk Avustralya, MoU'a katılmıştır. Yine aynı yıl DCs 1800 sistemi ilk defa U.K.'da kurulmuştur.

-1994'te MoU, 60 ülkede 100den fazla GSM iletişim ağına ulaşmış; GSM abonelerinin sayısı 3.000.000'u bulmuştur.

-1995 yılında U.S.A.'de GSM 1900 sistemi hayata geçirilmiş ve GSM'in abone sayısı günde 10.000 artışla büyümeye devam etmektedir. Nisan 95 itibariyle MoU, 69 ülkede 188 Üyeye sahiptir.

-1998'de 100 ülkede 253 üye ile tahmin edilen tüm görüşleri alt üst etmiş, dünya genelinde 70 milyon aboneye ulaşmıştır.

GSM sistemini kullanan ülkemizde üç operatör bulunmaktadır. Bunlar TURKCELL, VODAFONE ve AVEA'dır. Bu üç ağın verdiği hizmetler hemen hemen aynıdır. Her 3 operatör birbirine SMS atabilmekte, son zamanda yapılan anlaşma ile

VODAFONE ile AVEA şebeke aralarında MMS gönderimini abonelerine hizmet olarak sunmaya başlamıştır. Amaç abonelerin ihtiyaçlarını karşılamaktır.

2.3. GSM Sistem Standartları

GSM Şebekeler için sistemin standartları;

<u>Frekans Bandı</u>	Yukarı link : 890 Mhz - 915 Mhz Aşağı link : 935 Mhz - 960 Mhz
<u>Duplex Mesafe</u>	45 Mhz
<u>Taşıyıcı Ayrıştırması</u>	200 Khz
<u>Modülasyon</u>	GMSK
<u>Transmisyon Oranı</u>	270 kbit/sn
<u>Erişim Metodu</u>	TDMA
<u>Konuşma Kodlayıcısı</u>	RPE LPC 13 kbit/sn
<u>Çeşitlilik</u>	Kanal kodlama Araya yerleştirme Uyarlamalı dengeleme Frekans atlaması

2.4. Erişim Metodu

Sayısal GSM sistemi, her taşıyıcının sekiz zaman aralığına bölündüğü Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Metodu (TDMA) kullanır. Hareketli istasyon aynı zaman aralığında gönderir ve alır. Bu demektir ki, aynı zamandaki sekiz konuşma aynı radyo kanalında yer alabilir.

2.5. Modülasyon

Konuşma için kullanılan modülasyon GMSK'dır (Gaussian Minimum Shift Keying). 2006 yılında gelen ve Küresel Evrim İçin Gelişmiş Veri Oranları (EDGE) olarak adlandırılan sistem ile QPSK modülasyonu da veri taşıma amaçlı kullanılmaktadır.

2.6. GSM'in Avantajları

GSM ile oluşturulmak istenen özellikler şu maddeler ile verilebilir;

- Çok daha iyi konuşma kalitesi (eşit veya mevcut olan analog hücresel teknolojiden daha iyi)
- Düşük terminal, işletim ve hizmet ücretleri
- Yüksek seviyede güvenlik, konuşmalar şifrelenir ve abone bilgisi güvenliği garanti altındadır.
- Düşük güçte çalışan portatif veya mobil terminal desteği
- Yeni hizmetlere ve şebekelere uyumluluk
- Kendisinden önceki sistemlerden farklı olarak, ses kalitesini arttıran sayısal kipleme kullanılmıştır.
- GSM radyo frekanslarını verimli bir biçimde kullanır ve böylece sistem hücresel karışıklıklara daha dirençlidir.
- Veri iletişimi sistem içinde sağlanır.
- Uluslararası dolaşım (roaming) teknik olarak imkan dahilindedir ve böylece dünyanın birçok yerinde GSM şebekeleri kullanılabilir.
- Geniş pazarların rekabeti arttırmasıyla hem yatırımlar hem de kullanım fiyatları düşme eğilimindedir.

2.7. Hücresel Ağ

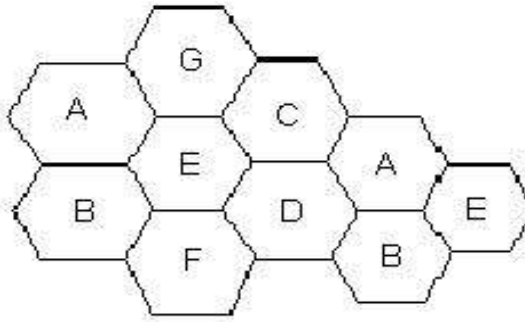
GSM'in hücresel yapıya sahip bir iletişim sistemi olduğu belirtilmişti. GSM sistemdeki tüm hücreler, hücresel ağı oluşturmaktadır. Aşağıda hücresel ağı oluşturan hücre yapıları incelenecektir.

2.7.1. Hücresel yapı

Radyo frekans haberleşmesinin ilk zamanlarında mühendisler alıcı ve verici arasında bir hat oluşturdıklarında oldukça sevinmişlerdi. İlk hatlar iki yönlü iletişim için değildi. Bunlar tek-yön gönderme hatları olarak kaldılar ve mobilleri arayan insanlar hemen cevap alamazlardı. Hatta aramalarının mobil adreslere ulaşip ulaşmadığını dahi hemen anlayamazlardı. Bundan sonraki basamak çift-yönlü, hemen cevap alınabilen bir transmisyon hattı kurmak oldu. Bu da mobil vericilerle sağlandı, fakat şebeke yapısı kolay kullanıma uygun değildi ve hizmet belli bir alan ile sınırlı idi. Bu alana, bir verici ile veya tek bir bölgede farklı kanallarda çalışan vericilerin küçük bir koleksiyonu ile ulaşmak mümkündü. Şebekenin tanıdığı bu alanlara "Hücre" denildi. Hücrenin veya şebekenin ebadı verici gücü ile ilgili idi.

Hücredeki alıcı ve vericinin frekansını seçmek çok önemliydi. Çünkü diğer sistemlerden girişime çok müsaitti.

Günümüz perspektifinden bakılırsa bu dezavantajlar açıkça kendini gösteriyor. Büyük bir bölge için küçük bir frekans grubu kullanılıyordu. Bütün bu problemlere çözüm arandı. Sonraları, frekans bandının ayrılıp birçok hücreler arasında bir hücreye tahsis edilmesi önerildi. Hücreler de birbirine bitişik ve bir arada olacaklardı. Böylece hücre yapısı oluştu.



Şekil 2.1 - Aynı frekanslara sahip olamayan komşu hücreler

Bu projenin düzgün çalışması için bazı kısıtlamalar getirildi;

- Aynı kanalı kullanan farklı iki istasyon arasındaki girişimi azaltmak için frekanslar belli hücrelere tahsis edildi.
- Farklı istasyonlar arası girişimi azaltmak için, bir tek hücre içinde güç seviyeleri uygun bir şekilde ayarlandı. Bitişik hücrelerin birbirlerine yönelik girişime sebep olmaması için, güç sınırlı olmalıdır.
- Alıcı filtreleri geliştirildi. Günümüzde, bir mobil abone, mobil cihazı ile hücre kapsama alanı içinde her yerden arama gönderebilir ve arama alabilir.

2.7.2. Ağ planlaması

Eğer Türkiye'deki gibi nüfusun farklı bölgelerde farklı yoğunluklarda olduğunu düşünürsek, her bölgede aynı büyüklükte hücre oluşturmanın mantıklı bir şey olmadığını görürüz. Operatör açısından olayı ele alırsak; İstanbul gibi büyük ve nüfusun yoğun olduğu bir bölge ile nüfusun seyrek olduğu Şırnak, aynı işlevleri

benzer bir ağ ile tedarik etmek mümkün değildir. Bunun için ağ ve hücre planlamada farklı tasarımlar geliştirilmiştir. Her hücre servis verdiği bölgeye göre 5 ana bölgeye ayrılmıştır; çok yoğun bölge (il merkezinin en yoğun olduğu yer, örn: Ankara-Kızılay), yoğun bölge(il merkezinin geneli), yoğun olmayan bölge(ilçe merkezleri), kırsal bölge, yol bölgesi

2.7.3. Hücreleri ayırma ve mikro hücre uygulaması

Abone sayısı arttıkça şebeke içindeki yoğunluk da artmıştır. Operatörler ve radyo mühendisleri kapasiteyi artırma yoluna gitmişlerdir. Oldukça temel bir fikir ortaya atılmıştır. Var olan alanı daha küçük parçalara ayırmak, böylelikle var olan kanal sayısını katlayarak, büyük hücreli eski duruma kıyasla, kapasiteyi çok daha yukarılara çekerek abone yoğunluğunu karşılamaktır.



Şekil 2.2 - Hücreleri ayırma ve mikro hücreler

Bu basit proje boyunca, hücrelerde kullanılan güç seviyeleri düşük tutulmuştur. Bundaki amaç ise mobil istasyonlar için gerekli olan pil büyüklüğünü azaltmak olmuştur. Mobiller için gerekli olan güç miktarı azalınca, mobillerin ebatları ve ağırlıkları da düşmüştür. Bu da şebekeleri kullanıcılar açısından daha çekici hale getirmiştir.

2.8. GSM Hava Arayüzü İletişim Ağı Birimleri

GSM sistem temel olarak, Bağlaşma Sistemi (SS – Switching System) ve Baz İstasyon Sistemi (BSS - Base Station System) olmak üzere iki bölüme ayrılır. Tez

alışmasında kullanılan cihazlar BSS sistemi içinde yer alır.

BSS içinde buluna her bir eleman, bütün sistemin fonksiyonlarının gerçekleştirildiği bir takım fonksiyonel üniteler içerir. Bu fonksiyonel üniteler, değişik donanım gereçleri ile gereklenirler.

2.8.1. Hücreler

nceki bölümlerde izah edildiği gibi, sistem bitişik radyo hücreleri ağı şeklinde tasarlanır ve bu hücreler birlikte tüm servis alanını kapsarlar.

2.8.2. Mobil istasyon terminal cihazı (MS – Mobile station)

Hücresel şebekenin en çok bilinen nitesi şüphesiz mobil istasyonlardır. G ve uygulama açısından dikkate alınırsa farklı tipte mobil istasyonlar mevcuttur. SIM ve mobil cihaz birlikte mobil istasyonu oluştururlar.

Sabit mobil istasyonlar, arabanın içine kalıcı olarak yerleştirilir ve maksimum izin verilen RF ıkış gücü 20W'dır. Portatif niteler (anta telefonları) 8W ve elle taşınabilir niteler 2W'a kadar g çıkarırlar. 1993'den bu yana üretilen mobiller ile GSM sistem daha cazip hale gelmiştir. Elle taşınabilen üniteler, hacimce oldukça küçüktürler.

2.8.3. Abone kimlik modülü (SIM-Subscriber identity module)

SIM, mobil aboneye bir kimlik tedarik eder. SIM olmadan, acil aramalar hariç, mobil işlevini göremez. SIM, kredi kartı büyüklüğünde, içinde kurulmuş çipi olan plastik bir karttır. 'Smart Card' olarak da adlandırılır. SIM kart, eğer mobil kullanılmak isteniyorsa mobil içine yerleştirilmelidir. Çok küçük elle taşınabilir cep telefonları için, kredi kartı büyüklüğündeki SIM kartın yerine daha küçük olan "plug-in SIM" geliştirilmiştir. Belirli abone parametreleri SIM kartta yüklüdür. Bunlarla beraber abone tarafından kullanılan kişisel veriler de kişisel telefon numaraları gibi bu kart içindeki çipte mevcuttur. SIM kart aboneyi tanıtır ve bir telefonu kişiselleştirdiğine göre, sadece SIM kartı alarak yurt dışına çıkmak mümkündür. Bu durumda gidilen yerde bir mobil telefon kiralayarak ve kişi kendi SIM kartını takarak, o cihazı kendi numarasından telefon ediyormuş gibi kullanabilir. Mali

yükümlülük, kişinin bağlı olduğu numaraya ait olur. Aynı zamanda bu kişiye, kişinin abone numarası çevrilerek de ulaşılabilir.

Şebekeden alınan kısa mesajlar da bu kartta saklanır. Kartın güvenliği için dört basamaklı bir şifre konulmuştur. Bu şifre PIN (Personal Identification Number) olarak adlandırılır. PIN kartta yüklüdür ve üç kere yanlış girilirse, kart kendini bloke eder. Bu durumda kart ancak sekiz basamaklı bir şifre ile çözülebilir. Buna da PUK (Personal Unblocking Key) denir ve PUK da kartta yüklüdür.

2.8.4. Baz alıcı-verici istasyonu (BTS)

Her bir hücre bir grup radyo kanalını işleten Baz Alıcı - Verici istasyonuna (BTS) sahiptir. Bu kanallar girişimi önlemek amacıyla komşu hücrelerde kullanılan kanallardan farklı tasarlanmışlardır. BTS, mobilin şebekeye ara yüzüdür. Bir BTS genellikle hücrenin ortasına yerleştirilir. BTS'den çıkan güç hücrenin gerçek boyutunu belirler. Bir baz istasyon, her biri ayrı RF kanalı temsil eden 1-16 alıcı-vericiye sahiptir.

2.8.5. Baz istasyon denetleyicisi (BSC)

Bir grup BTS, bir BSC ile kontrol edilir. Bu baz istasyonların sayısı üreticiye bağlıdır ve birkaç onlar veya birkaç yüzler mertebelerinde olabilir. Baz istasyon denetleyicisinin (BSC) en önemli görevleri arasında güç kontrolü, frekans idaresi ve BTS'lerin kontrolü sayılabilir. BSC donanımı, BTS gibi aynı bölgeye veya kendi başına bir bölgeye yerleştirilebileceği gibi Mobil Servisler Anahtarlama Merkezinin (MSC) bölgesine de yerleştirilebilir, BSC ve BTS, fonksiyonel olarak bir bütündür, buna da Baz İstasyon Sistemi veya Baz İstasyon Alt Sistemi (BSS - Base Station System) adi verilir.

2.8.6. Mobil servisler anahtarlama merkezi (MSC)

Belli bir sayıda temel istasyon denetleyicisine (BSC) bir Mobil Servisler Anahtarlama Merkezi (MSC) hizmet eder. MSC'ler PSTN, ISDN, PLMN ve birçok özel şebekelerle yapılan karşılıklı görüşmeleri kontrol ederler.

2.8.7. İşletme ve bakım merkezi (OMC)

OMC'nin hem (G)MSC'ye, hem de BSC'ye erişimi vardır. Şebekeden gelen hata mesajlarını ele alır. BTS ve BSC'nin trafik yükünü kontrol eder. OMC, BSC yoluyla BTS'i düzenler ve operatörün sisteme bağlı parçaları kontrol edebilmesini sağlar. Hücreler küçüldükçe ve baz istasyonların sayısı arttıkça, gelecekte bireysel istasyonları kontrol etmek mümkün olmayacaktır. Bu olay alıcı-verici kalitesi dengesini bozabilecektir, çünkü bu kontroller belli bir düzende sürekli yapılmaktadır. Dolayısıyla uzaktan kontrollü, yerinde bakım olayını sağlayan sistemler kurmak maliyeti düşürmek açısından önemlidir, fakat sistem kalitesini de muhafaza etmelidir. Bu BTS'deki 'self-test' fonksiyonları ile desteklenir. Bu özelliklerin sisteme sağlanması üreticiyle ilişkilidir.

2.9. Arama Kurulumu

Aramanın kurulumundan (call establishment) önce, mobil istasyon açık olmalı ve sisteme kaydedilmiş olmalı. İki farklı prosedür vardır. Bunlardan biri "mobil-çıkışlı arama" (MOC - Mobile Originated Call), diğeri ise "mobil sonlandırmalı arama" dır (MTC - Mobile Terminated Call). Biz sadece mobil çıkışlı aramalardan bahsedeceğiz. Mobil sonlandırmalı arama işlemleri de bunun zıttı yönde olacak, işlemler ise benzer olacaktır.

Mobil çıkışlı arama, GSM sistemde kullanılan işaretleşme hakkında genel bir izlenim edindirecektir. Burada işaretleşmeden kastedilen mesaj değişimidir. Gerçek bir arama başlamadan önce, şebeke ve mobil istasyon arasında on dört farklı mesaj değişimi olur.

Mevkiinin uygun hale getirilmesi prosedürüne (Location Update Procedure) benzer bir prosedür ile mobil bir kanal talebi ile başlar. Sistem tarafından kanal belirtilmesi yapılır. Mobil istasyon kanal isteme sebebini sisteme haber verir. Prosedürün devam etmesine izin verilmeden önce mobil kendi gerçekliğini tekrar kanıtlamak zorundadır. Şebeke bir mesaj göndererek gizli dinleyicilere karşı koruma amacıyla mobil istasyonun verilerini şifrelemesini ister. Şifreleme işi, mesajın sadece mobil istasyonun ve BTS'in anlayacağı bir şekilde gönderilmesi demektir. Sonra mobil aramak istediği numarayı gönderir. Arama devam ederken, BSC, BTS yolu ile

kullanıcı verilerinin aktarılacağı bir trafik kanalı belirtir. Farklı tipteki mesajlar ve kullanıcı verileri farklı kanallardan giderler. (Şekil 3.14 de mobil çıkışlı arama prosedürü görülmektedir). Bazı kanallar sadece mesaj değişimi için, bazıları ise kullanıcı verilerinin ele alınması içindirler. Aranılan nokta meşgul değilse mobil işaretini (sinyalini) gönderir ve karşı taraf ahizeyi kaldırdığında bağlantı kurulmuş olur.

MS	BTS	Aksiyon
→		Kanal talebi
←		Kanal belirtilmesi
→		Arama kurulumu talebi
←		Doğrulama parametrelerinin talebi
→		Doğrulama parametrelerinin belirtilmesi
←		Şifreleme komutu
→		Şifreleme tamam
→		Arzulanan numarayı gösteren kurulum mesajı
←		Arama devam ediyor, şebeke aramayı arzu edilen numaraya yönlendirir
←		Kullanıcı verilerinin değişimi için kanal belirtilmesi
→		Kanal belirtilmesi tamam, mesajlar trafik kanalında
←		Aranılan numara meşgul değil ve telefon çalışıyor
←		Aranılan numaraya bağlantı
→		Bağlantı tamam, arama iki tarafın konuşabilmesi içinde müsait
↔		Konuşma verilerinin değişimi

Şekil 2.3 - Mobil çıkışlı arama kurulumu prosedürü

2.10. El Değiştirme – Aktarma (Handover - Handoff)

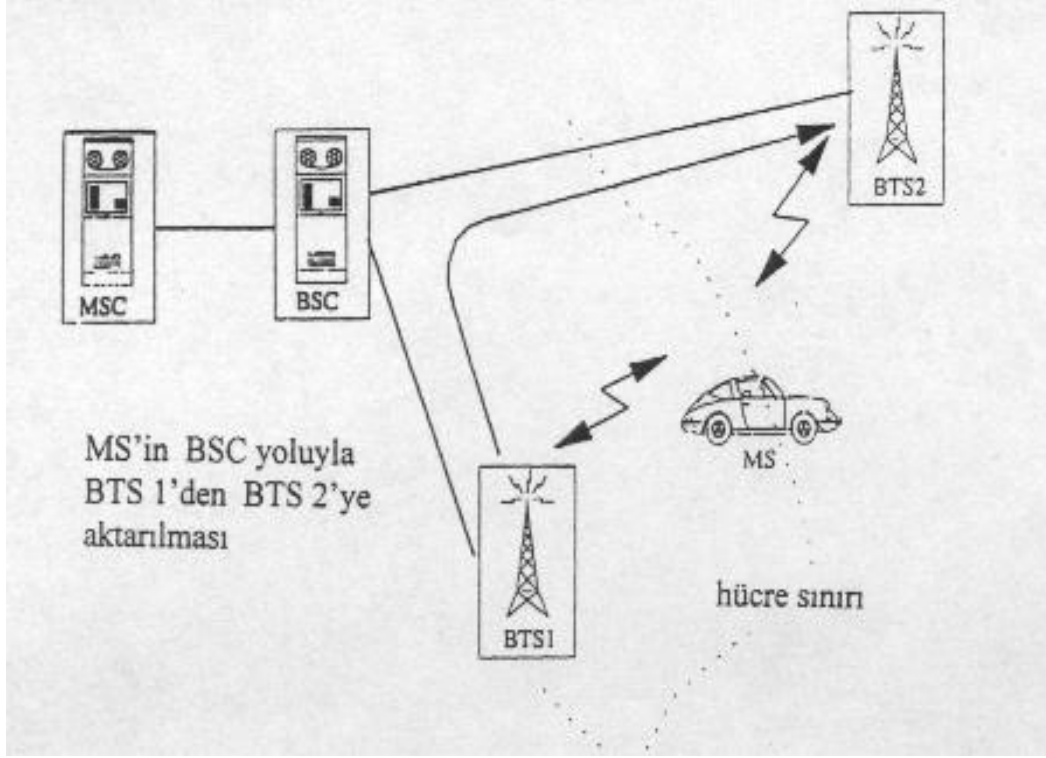
Handover veya Handoff prosedürü, bir mobil istasyonun iki hücre arasında geçiş yaparken konuşmanın devamı için bir araçtır. Bir arama, hücre sınırı geçildiğinde veya mobil istasyon ile belirli bir baz istasyon arasındaki mesafe çok arttığında düşer.

Hücresel bir şebekede, bir hücrenin komşu hücreleri vardır. Böylelikle sistem, mobil istasyonun hangi hücreye geçebileceğini saptayabilmektedir. Bir sonraki hücreyi saptayabilme metodu analog ve sayısal sistemlerde farklılık gösterir. Bu farklılık 'Handoff' ve 'Handover' sözcüklerinden tespit edilebilir. 'Handoff' analog sistemlerde kullanılmakta iken, 'Handover' ise GSM sisteminden bahsedilirken kullanılır.

Analog sistemlerde, baz istasyon, mobil istasyon ile kendi arasındaki bağlantı kalitesini gösterir. Baz istasyon, bağlantı kalitesinin düştüğünü ve mobil istasyon ile kendi arasındaki mesafenin arttığını fark ederse, komşu hücrelerden mobile olan güç seviyelerini rapor etmesini ister. Mantıklı olanı, mobil için rapor edilen en yüksek güç seviyesi, mobil istasyona en yakın hücrede tespit edilir. Daha sonra şebeke, baz istasyonun yeni hücrede hangi frekans kanalını kullanacağına ve mobil istasyonun hangi uygun frekansa akort edileceğine karar verir. Son olarak mobil istasyon kanal değişikliği için şartlandırılır. Handoff prosedüründe mobil istasyon oldukça pasif kalır. Bütün ölçümler ve ölçümlerden sonra gelen işler baz istasyonlarda ve şebekede yapılır. Hücre bölgeleri, kullanımda olan değişik kanallardaki farklı mobil istasyonların güç seviyelerini ölçmek için 'ölçme alıcısı' ile donatılmışlardır.

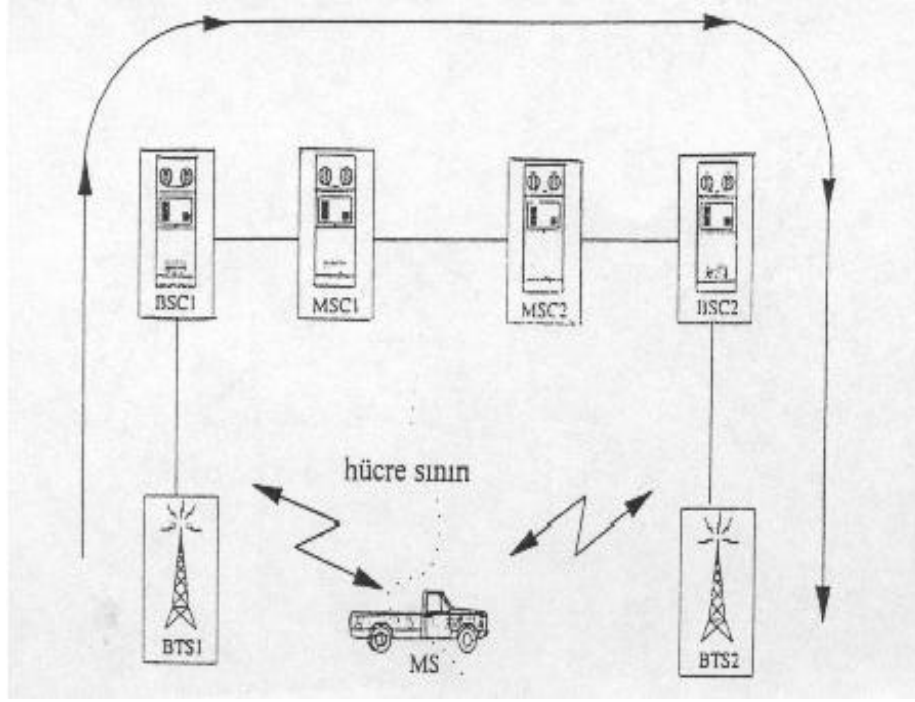
GSM sistemdeki durum farklıdır. Mobil istasyon sürekli komşu hücrelerde algılanan güç seviyelerini göstermelidir. Bunu yapmak için, baz istasyon mobil istasyona güç ölçümlerini yapmak için baz istasyonların (kanalların) listesini verir. Bu liste temel kanalda gönderilir. Bu temel kanal, mobil açıldığında frekansın akortlandığı kanaldır ve birinci kanaldır. Mobil istasyon, kalite için, içinde bulunulan hücrenin güç seviyesi ölçümlerine devam eder. Ayrıca bu ölçümler komşu hücrelerin güç seviyeleri için de aynı şekilde icra edilir. Ölçüm sonuçları periyodik olarak 'ölçüm raporuna' yerleştirilerek baz istasyona geri gönderilir. Baz istasyon, mobil istasyona olan bağlantının gücü ve kalitesi üzerinde ölçüm yapıyor da olabilir. Eğer ölçümler, bir aktarma yapılması gerektiğini gösteriyorsa, aktarma için en uygun baz istasyonu daha önceden tespit edilmiş olduğundan hiç gecikme olmadan bu aktarma gerçekleştirilerek sorun çözülür.

GSM sistem farklı tipte aktarmalar seçer. Mobil istasyonun hangi tipte bir hücre sınırını geçtiğine bağlı olarak, yeni hücrede, mevcut bir kanal sağlamak için bu aktarma işinin kontrol edilmesi lazımdır. Eğer aktarma bir BSC alanı içinde gerçekleştirilecekse, aktarma MSC'ye başvurmadan BSC tarafından ele alınabilir. Bu şekilde bir aktarma BTS'ler arası basit aktarma olarak adlandırılır.



Şekil 2.4 - BTS'ler arası aktarma

Eğer mobil istasyon bir BSC sınırından geçiyorsa, bu durumda konuşmada düzgün geçiş sağlanması MSC kontrolündedir. Bu iki farklı MSC arasındaki aktarma için de devam edebilir.



Şekil 2.5 - MSC'ler arası aktarma

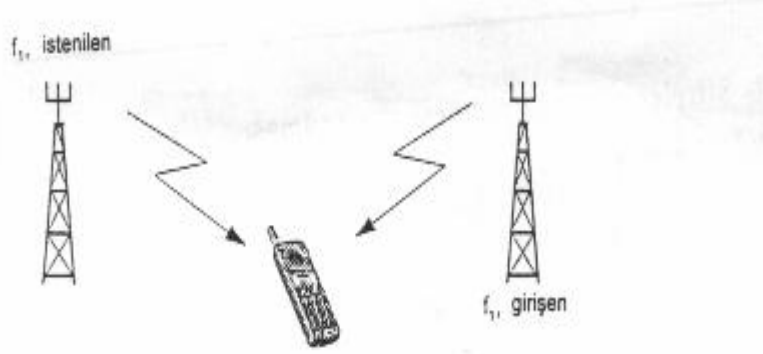
Teorik olarak, iki ülkenin politik sınırları arasında aktarma yapmak mümkündür. Bu özellik için herhangi bir teknik kısıtlama yoktur. Farklı serbest dolaşım anlaşmalarından dolayı, hiç bir şekilde bir telefon aramasını başlatmak mümkün değildir. Mesela Almanya'dan İsviçre'ye geçince aboneler yeni yabancı şebekede kayıtlarını yaptırmak zorundadırlar.

2.11. Sayısal Radyo İletiminde Yaşanan Problemler Ve Çözümler

Arabalarında seyahat eden herkes farkına varmıştır ki, seyahat esnasında bir radyo yayını dinlerken alınan sinyal kalitesi zaman zaman değişir. Örneğin bir tünele veya iki tepe arasına girerken olduğu gibi. Bu etkiye 'gölgelenme' adı verilir ve kablosuz dünyada ilgilenilmesi gereken birçok can sıkıcı gerçeklerden biridir.

Bu bölümde hücresel radyo ortamının temel problemleri ve bunlarla ilgili bazı ölçümler ele alınacaktır. Ek olarak, en genel biçimde sayısal haberleşme ilkeleri de anlatılacaktır.

Problemlerin çoğundaki en genel faktör, istenilen sinyalin çok zayıf olmasıdır. Bu zayıflık rastgele (ısı) gürültü ile veya girişim sinyalleri ile karşılaştırıldığında çok daha fazla önem kazanır. Böyle bir sinyal, istenilen sinyalin alındığı kanal üzerinde gelen, istenmeyen sinyal olarak tanımlanabilir. Örneğin bu sinyal, sizin ilişkide olduğunuz verici ile aynı frekansta çalışan ve ona çok uzak olmayan bir başka vericiden karışan sinyal olabilir.



Şekil 2.6 - Girişim işaret

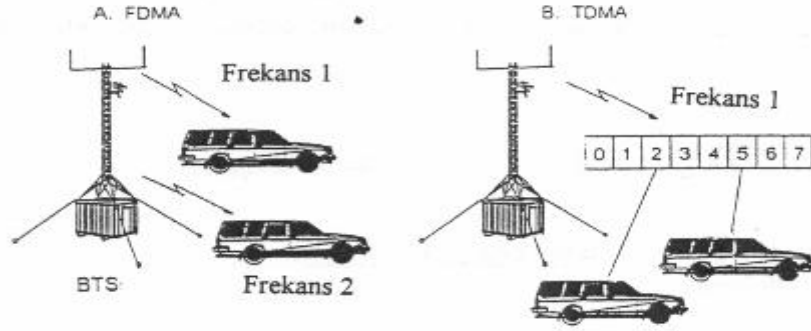
Bu gerçeklere dayanarak denilebilir ki, bütün frekansların tekrar tekrar kullanıldığı bir sistem olan hücreli sistem, gürültü değil girişimden dolayı sınırlandırılır.

2.11.1. Zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA)

Sıradan radyo yayınlarında FDMA (Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) metodu kullanılır. Böylelikle her kanala belirli bir frekans bandı tahsis edilir. Eğer başka bir kanalı dinlemek istiyorsanız alıcının frekansını başka kanala ayarlamalısınız. Bu teknik analog hücreli sistemlerde kullanılır. Şöyle ki; bir hücredeki her arama bir frekans bandı kullanır (Eğer duplex, yani iki yönlü arama ise iki bant kullanılır). Belirli bir arama için belirli bir bant kullanıldığından, bu frekans bandı başka bir arama için müsait olmayacaktır.

GSM'de TDMA tekniği kullanılmaktadır ve her frekans bandı için sekiz zaman aralığı bulunur. TDMA ve FDMA arasındaki fark şekil 4.2'de gösterilmiştir. (a)'da her konuşan mobile tahsis edilmiş bir frekans bandı (taşıyıcı frekansı) ilkesi ile uygulanan FDMA, (b)'de ise aynı frekans bandını kullanan sekiz zaman aralığında,

sekiz farklı mobilin konuşabileceği TDMA sistemi görülmektedir. FDMA’de her kullanıcıya ayrı bir frekans atanmış ve aynı zaman diliminde haberleşebiliyorken TDMA ile tüm kullanıcılar aynı frekansta fakat farklı zaman diliminde haberleşmektedir.



Şekil 2.7 – a) FDMA b) TDMA

Dikkat edilmelidir ki, şekillerde tek yön gösterilmiştir. Zıt yönde ise buna uygun gelen frekanslar/zaman aralıkları olmalıdır.

2.11.2. Transmisyon problemleri

2.11.2.1. Yol kaybı

Yol kaybı, mobil istasyon ile temel istasyon arasındaki mesafe artışıyla artar ve işaretin zayıflamasıdır. Alıcı (Rx) ve verici (Tx) antenleri arasında engeller yoktur. Serbest uzay durumu için verilen bir anten ile ilgili olarak, alınan güç yoğunluğunun Tx ve Rx antenleri arasındaki “d” mesafesinin karesiyle ters orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Bir de alınan güç, transmisyon frekansı “f” in karesiyle de ters orantılıdır. Okumura-Hata tarafından modellenmiş olan uzay zayıflaması ve güç kaybı sonuç olarak belirlenmiştir [32].

$$L_s \sim d^2 f^2 \quad (2.1)$$

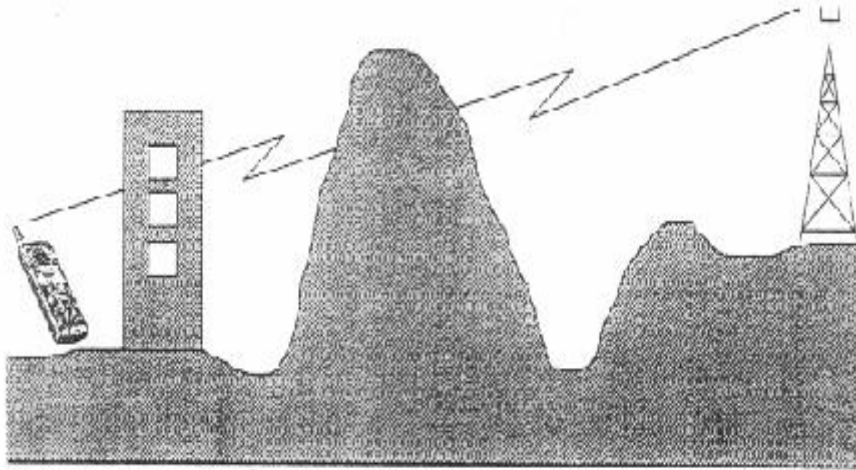
$$L_s \text{ [dB]} = 33.4 \text{ (dB)} + 20 \log (f \text{ Mhz}) + 20 \log (d \text{ km}) \quad (2.2)$$

33,4 oranın bir sabiti olarak verilir.

2.11.2.2. Zayıflama

Log-normal zayıflama

Aslında biz mobillerimizi nadiren engellerin olmadığı ortamlarda kullanırız. Çoğunlukla tepelerin ve binaların olduğu yerler iletim ortamı durumunda olur. Bu da işaretin gücünü zayıflatan gölgeleme etkisini ortaya çıkarır. Yani işaret yer yer zayıflayacaktır. Bu bir çeşit zayıflamadır. Zayıflamadan etkilenen işaret, işaret gücünde değişiklik meydana getirir. Minimum noktalara "zayıflama dip noktaları" denir. Gölgeleme etkilerinin meydana getirdiği bu çeşide "log-normal zayıflama" denir ve işaret gücünün logaritmasını alırsak bu zayıflama ortalama değerin etrafında normal dağılım gösterir. İki zayıflama dip noktaları arasındaki mesafe tipik olarak 10-20 metredir.

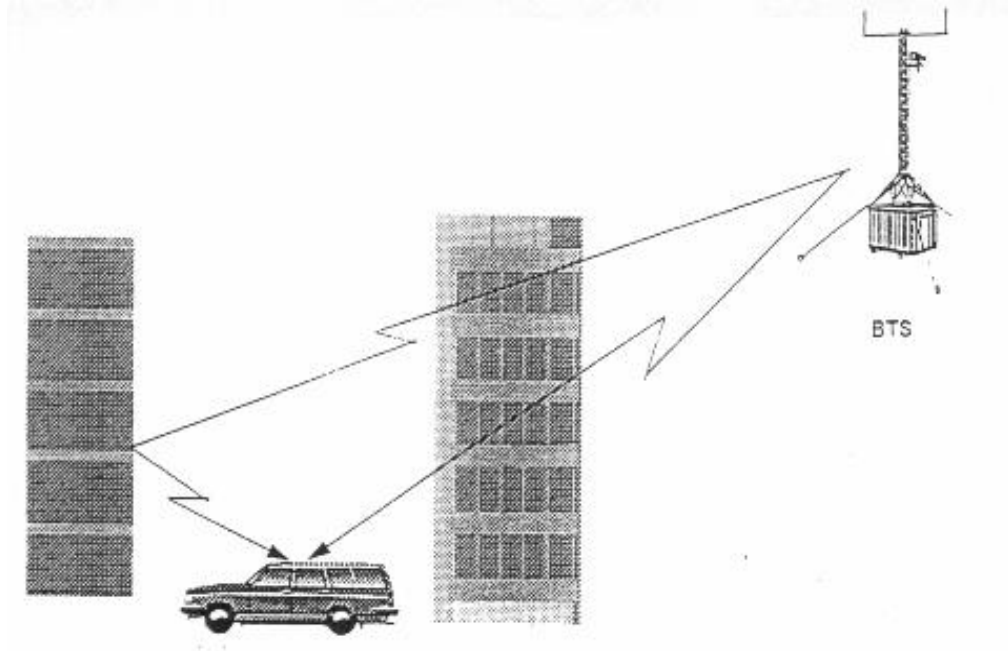


Şekil 2.8 - Log-normal zayıflama

Rayleigh zayıflaması

Mobil telefonların güncelliğinin her geçen gün artması dolayısıyla nüfusun çok olduğu yerlerde abone sayısının yüksek olduğunu ve sürekli artacağını kestirmek hiç de zor değildir. Mobillerin şehirlerde kullanılması bozucu bir etki olan "çokluyol" veya "Rayleigh zayıflaması" olarak adlandırılır. Bu durum işaretin Tx anteninden çıktıktan sonra Rx antenine ulaşırken birden fazla yol almasıyla oluşur. İşaret sadece Tx anteninden çıktığı doğrultudan alınmaz, çıktığı noktadan birçok farklı noktalara gider. Antenler arasında görüş hattı yoktur. İşaret birçok engellerden, örneğin binalardan, yansıyarak mobil istasyona ulaşır.

Bu da demektir ki, alınan işaret, sadece fazı farklı ve biraz da genliği farklı aynı işaretlerin toplamı olacaktır. Eğer işaretler vektör olarak toplanırsa işaret gücü sıfıra düşecektir. İki zayıflama dip noktası arasında geçen zaman, hem transmisyon hızına hem de mobil hızına bağlıdır.



Şekil 2.9 - Rayleigh zayıflaması

Bir yaklaşıklık yaparak denilebilir ki, Rayleigh zayıflamasına göre iki dip nokta arasındaki mesafe dalga boyunun yarısı kadardır. 900 MHz için bu mesafe 17 cm civarında hesaplanır. Böylece, eğer 50 km/h hızla hareket eden bir mobil için iki dip nokta arası zaman şöyle olacaktır ;

$$V = 50 \text{ km/h} = 13,89 \text{ m/s} \approx 14 \text{ m/s} \quad (2.3)$$

$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 900 \times 10^6 = 0,3\text{m} \quad (2.4)$$

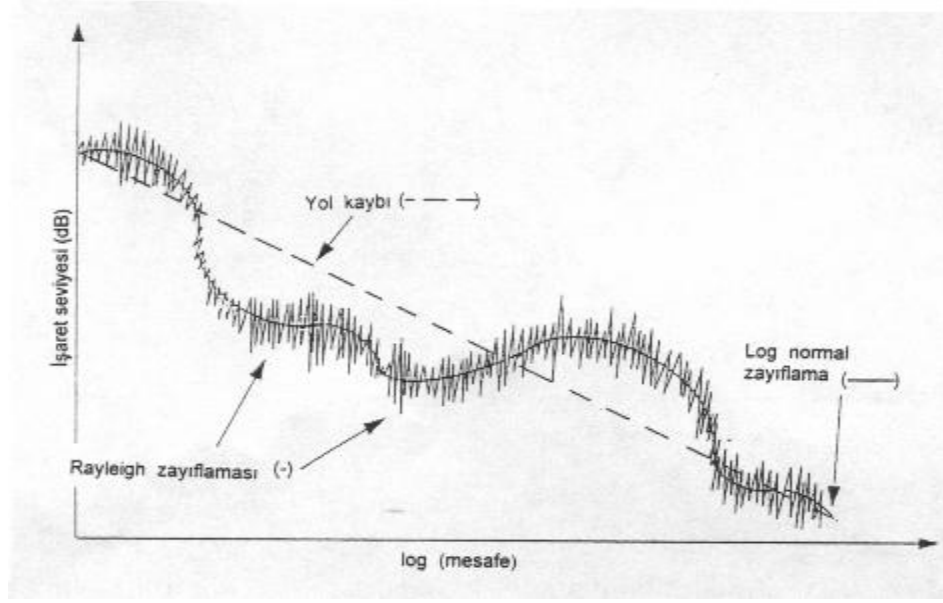
$$(\lambda / V) / 2 = 10,7 \text{ ms} \quad (2.5)$$

V : hız λ : dalga boyu

1800 MHz için bu hesaplanan zaman yarıya düşer.

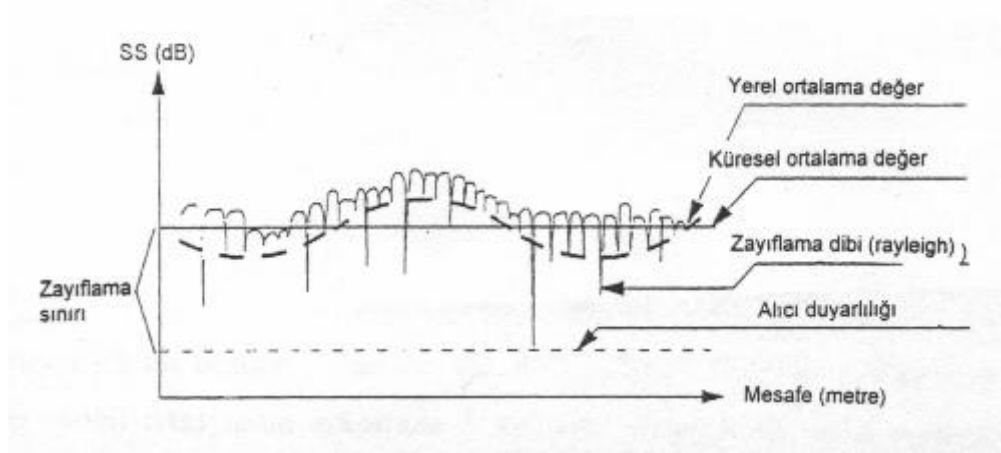
Toplam zayıflayan işaret

BTS Tx anteninden uzaklaşıldığında mobil istasyonun Rx anteninde muhtemel işaret gücü gösterimi; şekil 4.5 ile verilmiştir.



Şekil 2.10 - Mesafe ile Rx işaret gücü ilişkisi

Tx anteninden belirli bir 'd' kadar mesafe uzaklıkta alınan işaret Şekil 4.a.6 'daki gibi olacaktır.



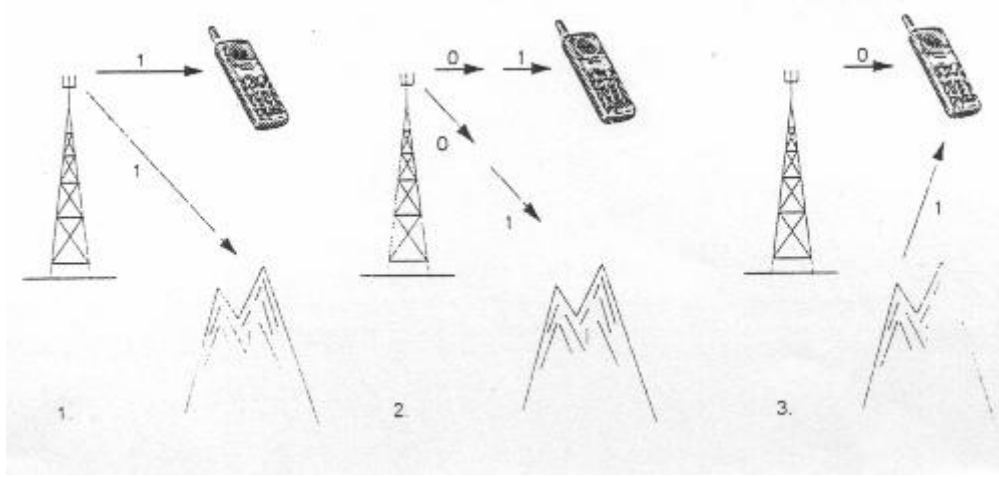
Şekil 2.11 - Rx işaret gücü

Belirli bir çıkış için istenilen en küçük işaret gücü değeri alıcının duyarlılığı anlamındadır. Diyelim ki, Tx anteninden gönderilen enformasyonun sezilebilmesi için X watt'lık bir güç almamız gereksin. Bu durumda işaret gücü X watt'ın altına düşerse enformasyon kaybolacaktır. Dolayısıyla sistemin sadece işaret gücünün 'küresel ortalama değerine göre planlanamayacağı çok açıktır. Zayıflamaya karşı önlemlerin alınması gerekir ve 'zayıflama aralığı' diye bir terim tanımlanır. Eğer kesintisiz bir iletim yoluna sahip olmak istiyorsak, küresel ortalama değer alıcı

duyarlılığının üzerinde olması gerekir. Şekilden de görülebileceği gibi alıcı duyarlılığının seviyesi, en derin zayıflama dip seviyesinin biraz altındadır. Bu durumda zayıflama aralığını küresel ortalama değer ile alıcı duyarlılığı arasındaki fark olarak tanımlayabiliriz.

2.11.2.3. Zaman ayrılması

Sayısal iletim 'zaman ayrılması' olarak adlandırılan bir başka problemi de beraberinde getirir. Bu problemin merkezinde, çoklu yol zayıflamasına zıt olarak, Rx anteninden çok uzaktaki (kilometreler mertebelerinde) bir nesneden gelen yansıyan işaretler vardır.



Şekil 2.12 - Zaman ayrılması

Zaman ayrılması, Ara Simgesi Girişimi (ISI - Inter Symbol Interference) olayına sebep olur. ISI, sonuç simgelerin birbirine girişmesi ve alıcı tarafın hangi gerçek simgeyi sezeceğine karar vermesinin zorlaşması anlamına gelir. Buna bir örnek şekil 4.a.7'de gösterilmiştir.

Eğer yansıyan işaret direk giden işaretten tam olarak bir bit geç giderse, bu durumda alıcı direk giden dalgadan '0' algıladığı gibi yansıyan dalgadan da '1' algılar. '1' simgesi '0' simgesi ile girişir.

GSM'de hava ara yüzünde net bit oranı 270 kbit/s 'dir. Dolayısıyla bit zamanı 3,7µs'dir. Bir bit 1,1 km'ye karşılık geldiğinden, eğer mobil istasyonun arkasında 1

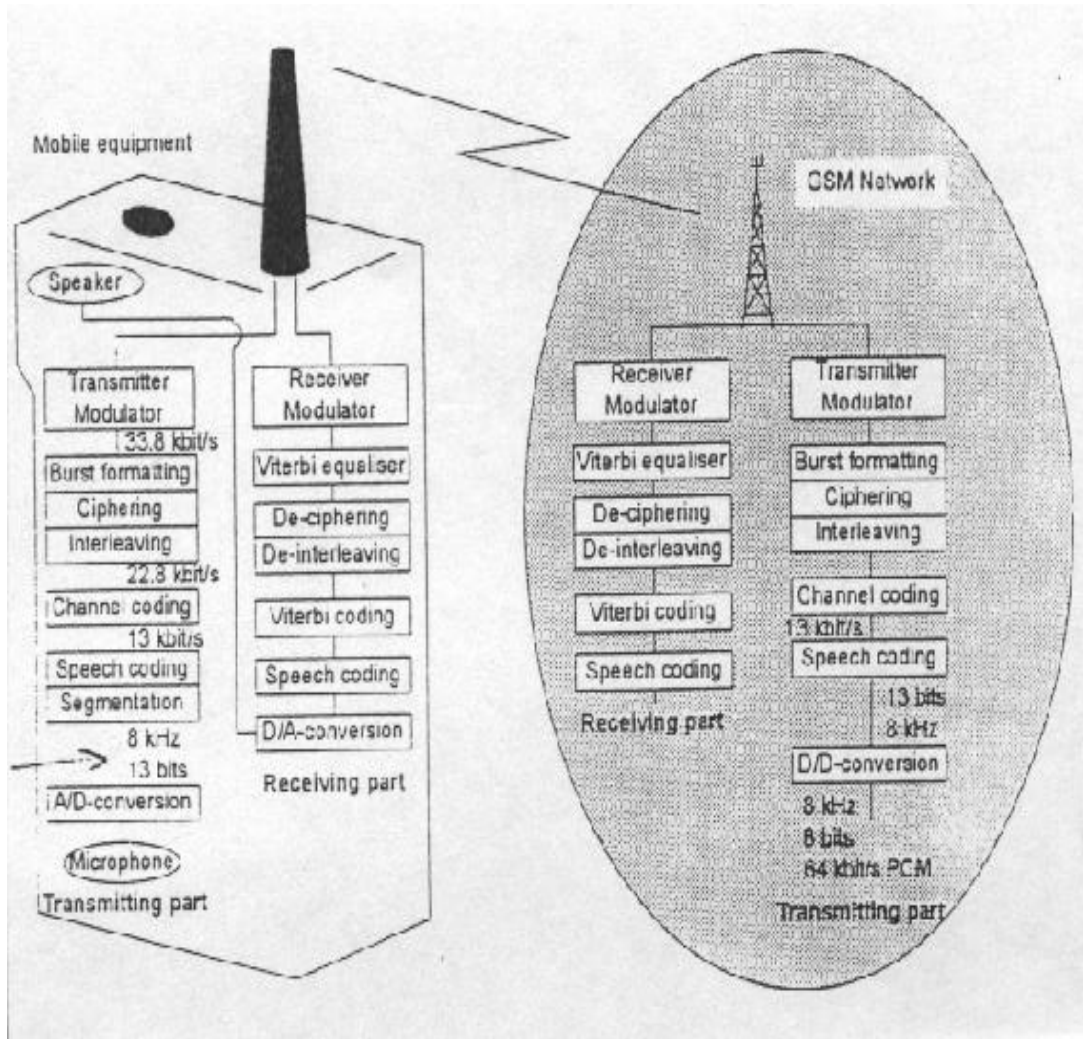
km'den bir yansıma varsa yansıyan işaret direk giden işareten 2 km daha uzun yol alır. Bu da istenilen işaret ile, istenilen işareten iki bit zamanı geç gelen bir işaretin karışması anlamına gelir.

2.11.2.4. Zaman ayarlaması

TDMA kullanma, mobilin sadece tahsis edilen zaman aralığı süresince işaret göndermesi, diğer zamanlarda göndermemesi anlamına gelir. Aksi takdirde diğer mobillerden yapılan aramalar, aynı taşıyıcı üzerinde farklı zaman aralıklarında olduğundan karışacaktır. Örneğin mobil cihaz, temel istasyona çok yakın olsun. Zaman dilimi 3 (TS3 - Time Slot 3) tahsis edilir ve arama için sadece bu zaman dilimi kullanılır. Arama süresince mobil, temel istasyondan uzaklaşır, böylelikle temel istasyondan gönderilenler mobile zaman geçtikçe daha geç ulaşmaya başlar, dolayısıyla mobilden çıkan cevap da temel istasyona her zaman geç ulaşır. Eğer bir şey yapılmazsa gecikme ileride daha da artacak ve mobilin TS3 'de gönderdiği mesaj bilgisi ile temel istasyonun TS4' de aldığı mesaj bilgisi üst üste çakışacaktır. Bu ise kesinlikle istenmeyen bir durumdur.

2.11.3. Transmisyon problemlerine çözümler

Problemleri tanımladıktan sonra şimdi de çözümlerden bahsedelim. Şekil 2.13 şematik olarak işaret işleme bloklarını göstermektedir.



Şekil 2.13 - İşaret işleme blokları

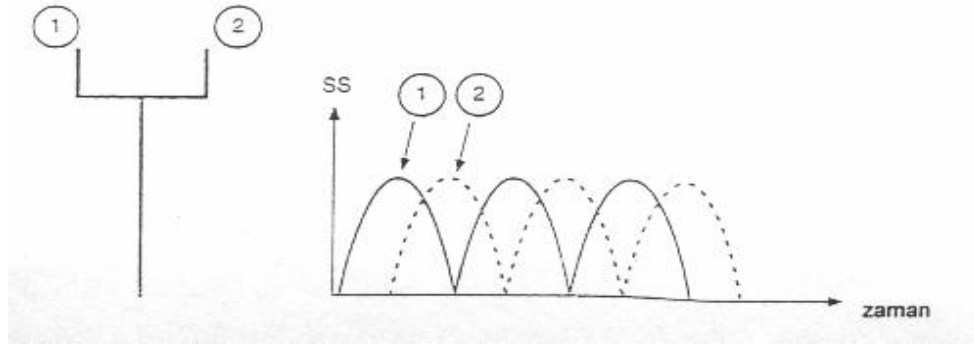
İşaret işleme, mobil haberleşme sistemindeki en önemli noktalardan biridir. Bu olay mobil cihazda ve şebeke kısmında gerçekleşir.

İlk olarak analog konuşma A/D dönüştürücü (Analog/Sayısal Dönüştürücü) ile sayısal hale getirilir. Daha sonra bit oranının azaltılması için konuşma kodlayıcıya girmek üzere 20 ms' lik parçalara bölünür. Daha sonraki basamak, kanal kodlama ve araya yerleştirme işlemleridir. Konuşmanın şifrelenmesi (gizli dinleyicilerden korunmak için) ve sonra burst formatlama (başlangıç ve bitiş bitlerinin, bayrakların eklenmesi vs.) işlemleri de gerçekleştirildikten sonra son basamak olarak bit dizisinin bir taşıyıcı üzerine modüle edilmesi ve işaretin gönderilmesi işlemleri gerçekleştirilir. Alıcı tarafta da buna uygun işlemler gerçekleşir. Mobil cihaz tarafı ile şebeke tarafındaki fark, konuşmanın şebeke tarafında A/D veya D/A

dönüşüme uğramamasıdır. Eğer konuşma yerine veri gönderilmek isteniyorsa tabii ki mobil tarafında A/D veya D/A dönüşüme gerek kalmayacaktır. Ayrıca verinin konuşma kodlayıcısına da aktarılmasına gerek olmayacaktır. Veri haberleşmesinde transmisyon hataları olma ihtimalleri çok olduğundan kanal kodlama başka bir şekilde yapılacaktır.

2.11.3.1. Anten (veya uzay) farklılığı

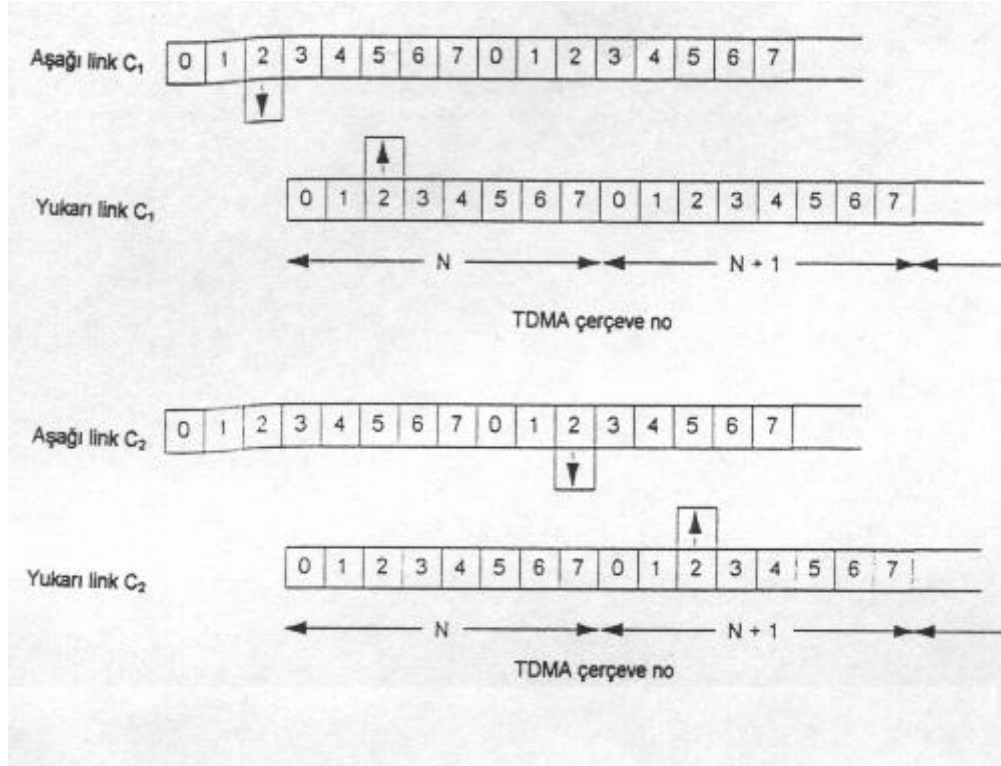
Farklılığı sona erdirmenin bir yolu zayıflamadan bağımsız etkilenen iki kabul kanalı kullanmaktır. İkisinin de aynı anda çok derin bir zayıflama dip noktasından etkilenme riski çok küçüktür. Bu da iki Rx anteninin aynı işareti bağımsız olarak almasının faydalı olacağı demektir, böylece işaret zayıflama zarflarından az etkilenecektir. İki işaretin en iyisini seçmekle zayıflama derecesi azaltılmış olur. Antenler arasındaki mesafe iki antendeki işaret ilişkisi (correlation) ile ilgilidir. İlişki, işaretlerin neye benzediğini gösteren istatistiksel bir terimdir. Pratik olarak bir kaç metredir. 900 MHz'de, antenler arasında 5-6 metre mesafe ile 3 dB kazanç sağlamak mümkündür. 1800 MHz'de ise dalga boyunun düşmesiyle mesafe de kısalacak, böylece daha az mesafe ile aynı kazanç elde edilebilecektir. Şekil 3.25'te iki ayrı antene ait farklılık görülmektedir.



Şekil 2.14 - Anten farklılığı

2.11.3.2. Frekans atlama (frequency hopping)

Önceden Rayleigh zayıflamasında belirtildiği gibi, zayıflama örüntüsü frekansa bağlıdır. Bu da farklı frekanslar için farklı yerlerde zayıflama dip noktalarının oluşması anlamına gelir.

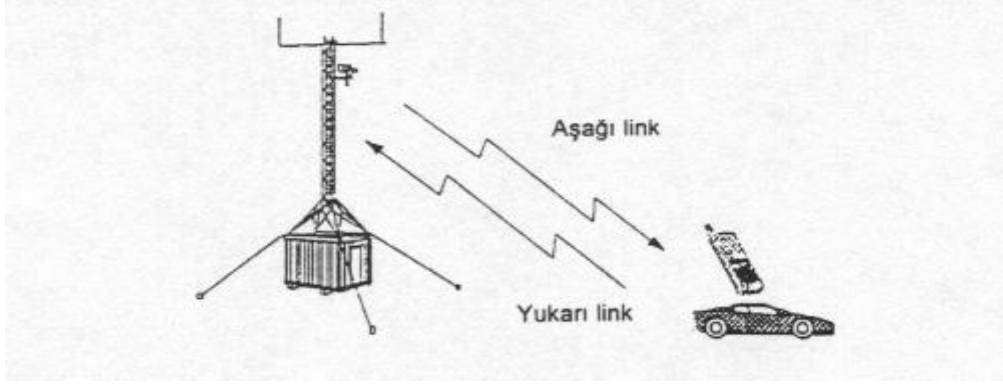


Şekil 2.15 - C_1 ve C_2 frekansları arasında frekans atlaması

Basit olarak söyleyebiliriz ki, bu olaydan kazanç sağlamak için, arama süresince belli sayıda frekansın arasında taşıyıcı frekansını değiştiririz ve bunlardan sadece birinde zayıflama dip noktası mevcut ise enformasyonun küçük bir kısmını kaybederiz. Kompleks işaret işleme ile işareti tekrar onarabilir, eski haline getirebiliriz. Aynı arama için, N no'lu TDMA çerçevesi süresince C_0 , $N+1$ no'lu TDMA çerçevesi süresince C_1 kullanılır ve bu olay çevrim halinde devam eder.

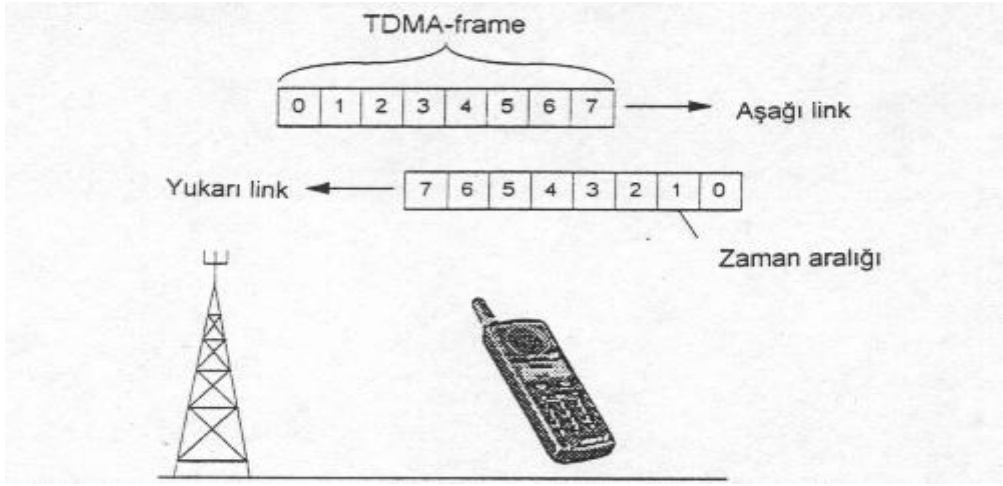
3. SAYISAL RADYO (HAVA) ARAYÜZÜ

Radio ara yüzü MS ve BTS arasındaki bağlantının genel adıdır. Her taşıyıcı frekans için bir TDMA çerçeve kullanıldığını önceki bölümde belirtmiştik. Her çerçeve sekiz TS (zaman aralığı) içerir. BTS'den MS'e olan yön aşağı link (down link), MS'den BTS'e olan yön de yukarı link (up link) olarak tanımlanır.



Şekil 3.1 - Bir radyo kanalı üzerindeki yukarı ve aşağı link

3.1. Kanal Kavramı

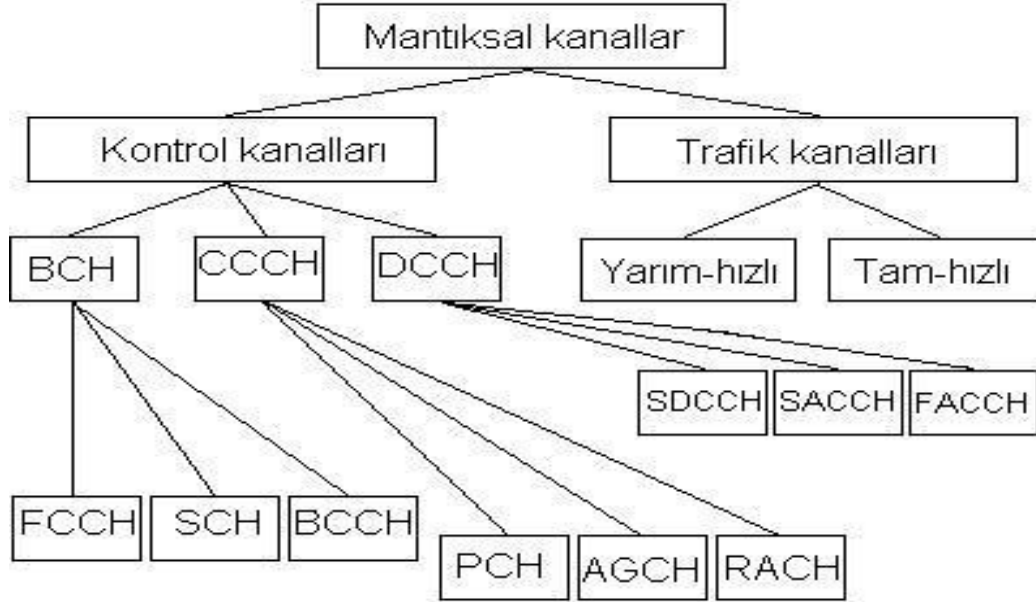


Şekil 3.2 - TDMA kanal kavramı

Taşıyıcı üzerindeki TDMA çerçevesindeki bir zaman aralığı, bir fiziksel kanalı ifade eder. Eğer, her kullanıcının belli sayıda frekanstan biri yoluyla bir sisteme bağlandığı FDMA sistemi ile karşılaştırma yaparsak, netice olarak görülür ki, GSM'de her taşıyıcı için sekiz fiziksel kanal mevcuttur (TS 0-7). Bir TS süresince gönderilen bilgiye “burst” adı verilir.

Birçok enformasyon türü (örneğin, kullanıcı veri ve kontrol işaretleri), BTS ve MS arasında gönderilir. Gönderilen enformasyonun türüne bağlı olarak, farklı mantıksal kanallardan bahsetmek mümkündür. Örneğin farklı enformasyon türleri, fiziksel kanallar üzerinde belirli bir düzen ve dizide gönderilirler. Bu mantıksal

kanallar fiziksel kanallar üzerinde planlanır. Mesela; konuşma, “trafik kanalı” olarak adlandırılan (ve belirli belirsiz bir fiziksel kanal olan) mantıksal kanaldan gönderilir. Mantıksal kanallar “kontrol” ve “trafik” kanalları olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 4.b.3 ‘te mantıksal kanalların alt bölümleri görülmektedir.



Şekil 3.3 - Mantıksal kanallar

Mobil istasyon ve radyo baz istasyonu arasındaki haberleşmede bu kanalların nasıl kullanıldığına bakalım.

3.1.1. Kontrol kanalları

İlk olarak, MS açıldığında bir radyo baz istasyonunu sezmeye çalışır. Bu, tüm frekans bandını tarayarak veya bu operatör için ayrılmış Yayın Kontrol Kanalı (BCCH - Broadcast Control Channel) taşıyıcısını içeren bir prosedür kullanarak yapılır. MS, en kuvvetli taşıyıcıyı bulduğunda bunun BCCH taşıyıcısı olup olmadığını tespit etmelidir. Bir BCCH taşıyıcısı, kontrol kanallarının taşınmasında kullanılan bir frekanstır.

3.1.1.1. Yayın kanalları (BCH)

Frekans düzeltme kanalı (FCCH - Frequency correction channel):

FCCH'de bir sinüs işareti gönderilir. Amaçlarından biri BCCH taşıyıcısına emin

olmak, diğeri de MS'in frekansa senkron olmasını sağlamaktır. FCCH, aşağı linkten ve tek noktadan çok noktaya gönderilir.

Senkronizasyon kanalı (SCH - Synchronisation channel):

MS için bundan sonra ki olay, belirli bir hücre içindeki yapıya senkronize olmak ve seçilen baz istasyonunun. bir GSM baz istasyon olduğuna emin olmaktır. Senkronizasyon kanalını dinleyerek; MS, seçilen baz istasyonun bu hücredeki TDMA çerçeve yapısındaki bilgiyi alır. Bu bilgi TDMA çerçeve no'sudur. Ayrıca Temel İstasyon Kimlik Kodu da alınır (BSIC). BSIC, baz istasyon bir GSM şebekeye aitse kod çözme işlemine tabi tutulur. SCH aşağı linkten ve tek noktadan çok noktaya gönderilir.

Yayın kontrol kanalı (BCCH - Broadcast control channel):

MS'in, dolaşımı başlatmak için (yani gelen aramalar için beklemek veya arama yapmak) alması gereken son enformasyon, hücre ile ilgili bazı genel enformasyonlardır. Bu, üzerinde MS'in ölçümleri dikkate alacağı BCCH içinde gönderilir. Bu ölçümler, hücrede izin verilen maksimum çıkış gücü ve komşu hücreler için BCCH taşıyıcısı ölçümleridir. BCCH, aşağı linkten ve tek noktadan çok noktaya gönderilir. Artık MS bir temel istasyona kilitlenmiştir ve hücredeki çerçeve yapısına senkronizedir. Temel istasyonlar birbirine senkron değildir, yani MS hücre değiştirdiğinde, her defasında FCCH, SCH ve BCCH'in baştan okunması gereklidir.

3.1.1.2. Ortak kontrol kanalları (CCCH)

Çağırman kanalı (PCH - Paging channel):

Belirli zaman aralıkları içinde; MS, şebekenin kendisi ile bağlantı kurmak isteyip istemediğini görmek için PCH'yi dinleyecektir. Sebep, gelen bir arama veya gelen bir kısa mesaj olabilir. PCH'de gelen enformasyon, MS'in kimlik numarası (IMSI) veya geçici kimlik numarasıdır (TMSI). PCH, aşağı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

Rastgele erişim kanalı (RACH - Random access channel):

MS numaraları aldıktan sonra, RACH'dan numaraları aldığını bildirir. MS, ayrıca bu kanalı, şebekeye bağlanmak istendiğinde de kullanır. RACH, yukarı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

Erişim verme kanalı (AGCH - Access grant channel):

şebeke bir işaretleşme kanalı belirler (SDCCH). Bu işaretleşme kanalının belirlenmesi olayı AGCH'da gerçekleşir. AGCH, aşağı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

3.1.1.3. Tahsis edilmiş kontrol kanalları

Tek başına tahsis edilmiş kontrol kanalı (SDCCH - Stand alone dedicated control channel):

MS, belirtilen işaretleşme kanalı olan SDCCH'a anahtarlama yapar. Arama kurulumu prosedürü bu kanal üzerinden yapılır. SDCCH, hem aşağı hem de yukarı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir. Arama kurulumu gerçekleştirildiğinde; MS, taşıyıcı ile zaman aralığı tarafından tanımlanan trafik kanalına (TCH) anahtarlanır.

Yavaş birleştirilmiş kontrol kanalı (SACCH - Slow associated control channel):

SDCCH'ın belirli zaman aralıklarında ve bir de trafik kanalında, SACCH'daki enformasyon gönderilir. Yukarı linkte MS, kendi temel istasyonu ve komşu temel istasyonlarla ilgili ortalama ölçümleri gönderir. Bu ölçümlerden; kendi temel istasyonu ile ilgili ölçüm işaret gücü ve kalitesi, komşu temel istasyonlarla ilgili ölçüm işaret gücü üzerinedir. SACCH, yukarı ve aşağı iki linkten de ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

Hızlı birleştirilmiş kontrol kanalı (FACCH - Fast asociated control channel):

Eğer konuşma anında, aniden bir el değiştirme (handover) gerektiği takdirde FACCH kullanılır.

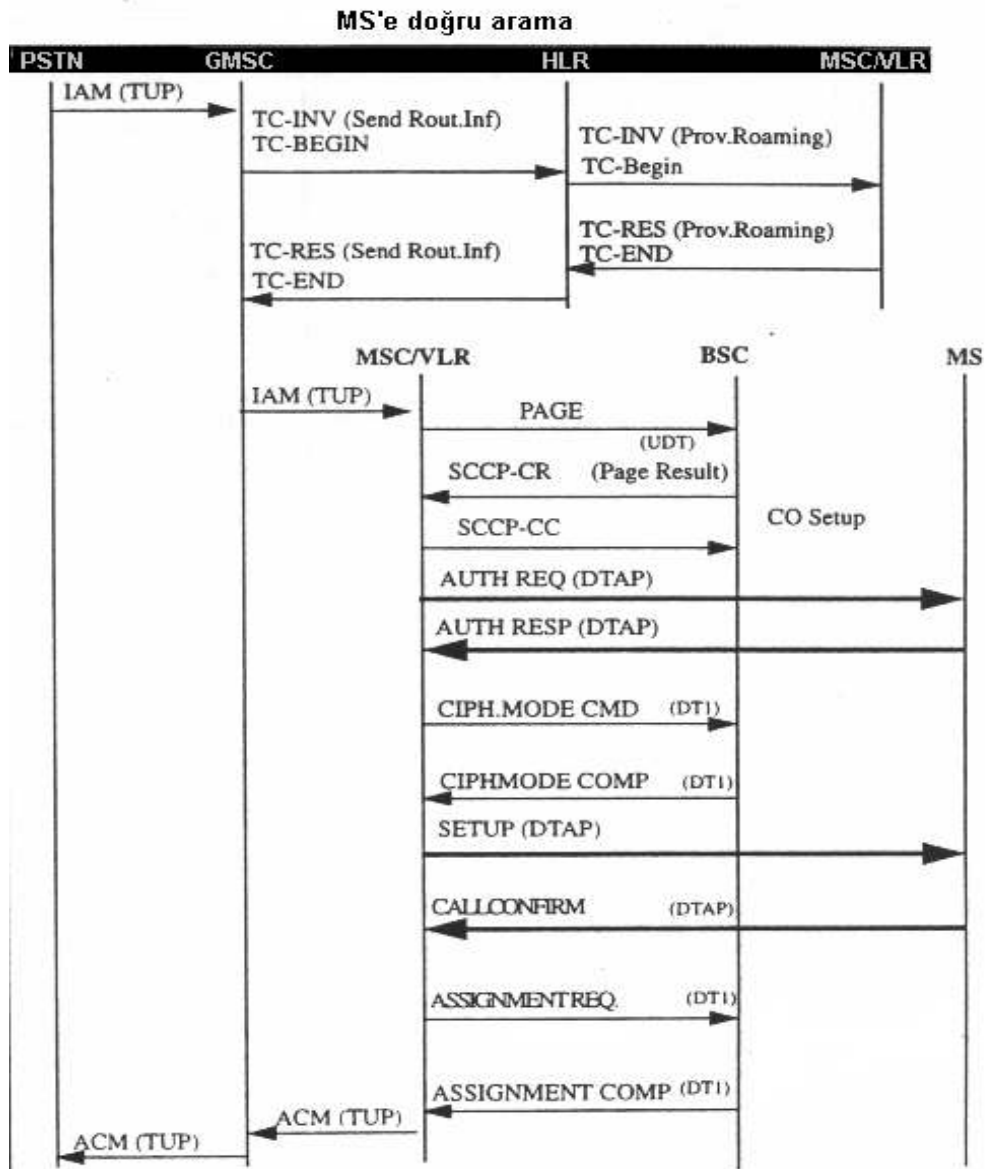
3.1.2. Trafik kanalları (TCH)

Trafik kanalları “tam-hızlı (full-rate)” ve “yarı-hızlı (half-rate)” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Günümüzde tam-hızlı trafik kanalları kullanılmaktadır. İleride kalitesi tolere edilebilir yarı-hızlı konuşma kodlayıcılar tasarlandığında, yarı-hızlı trafik kanalları da kullanılabilecektir. Bir tam hızlı TCH, bir fiziksel kanalı işgal eder (Bir taşıyıcı üzerindeki bir zaman aralığı).

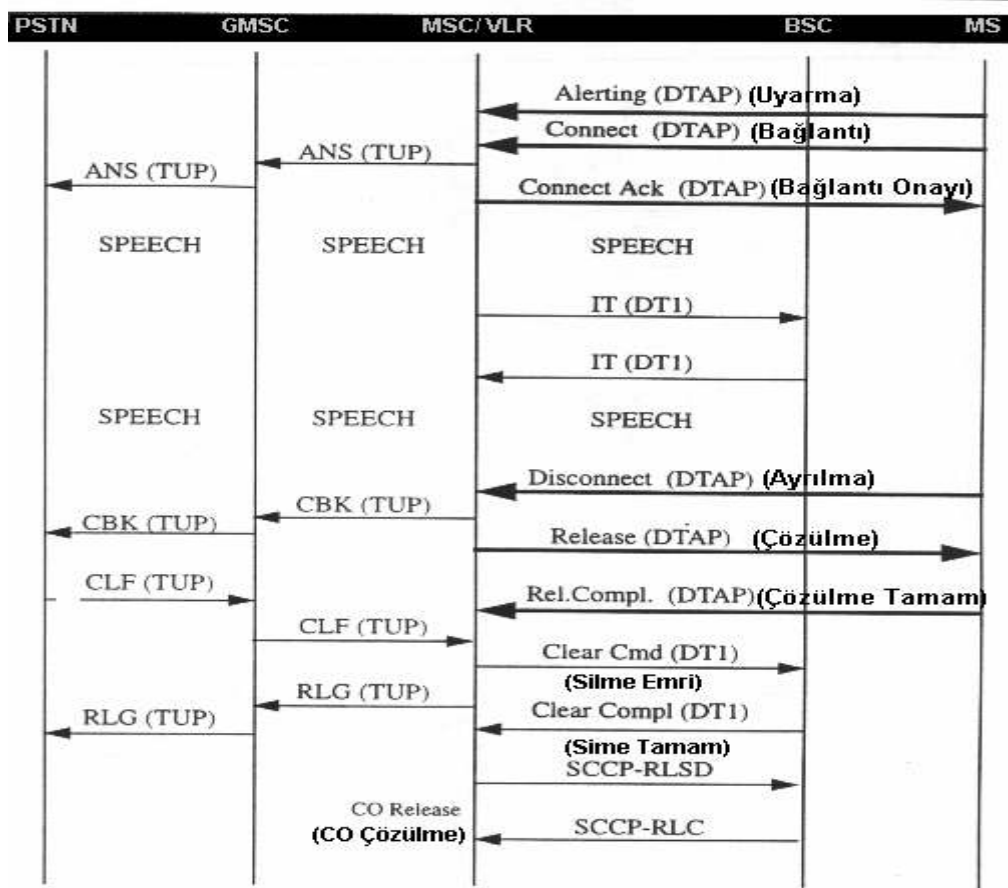
3.2. GSM'de Arama İşlemi Örneği

Aşağıdaki örnek, MS'e gelen bir arama için işaretleşme mesajı sıralarını göstermektedir. Mesaj sırası diyagramında, TCAP ilkellerinin isimleri eklenmiştir. BSSAP mesajları için, BSSMAP ince bir ok ile DTAP ise kalın bir ok ile belirtilmiştir.

MSC ile BSC arasındaki işaretleşmenin büyük çoğunluğunun Bağlantı Yönelimli olduğu unutulmamalıdır.

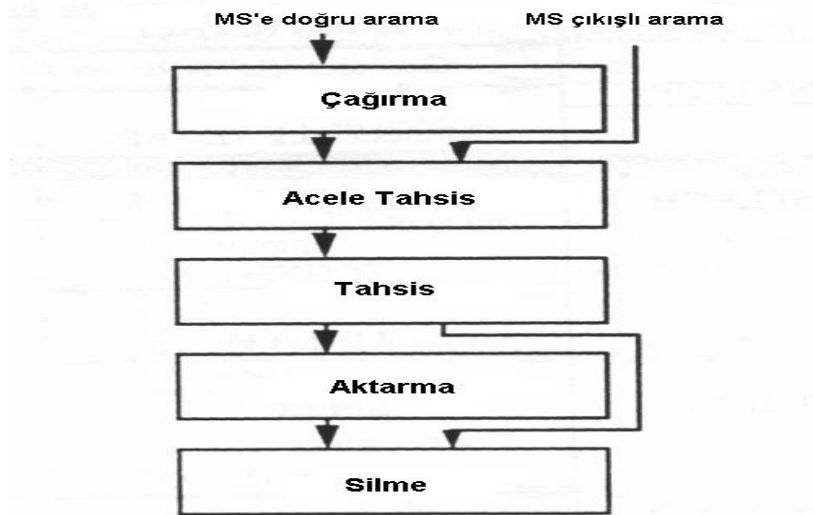


Şekil 3.4 - MS'e gelen bir aramanın işaretleşme sırası (1. Kısım)



Şekil 3.5 - MS'e gelen bir aramanın işaretleşme sırası (2. Kısım)

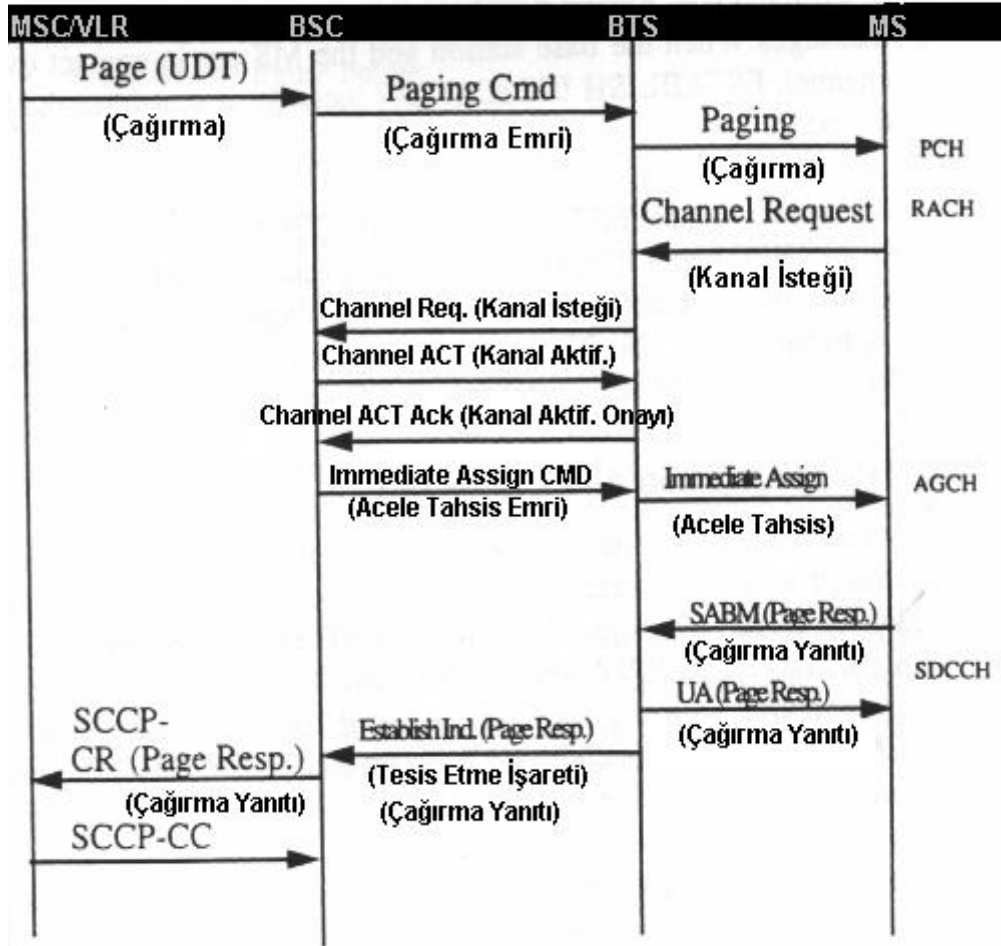
BSS'te Dahili Arama Yönetimi birkaç safhaya ayrılabilir:



Şekil 3.6 - BSS temel dahili arama yönetimi

3.2.1. Çağırma (Paging)

Çağırının kurulabilmesi için ilk olarak MS'in tam olarak yerinin belirli olması gerekmektedir. Bunun için MS'in hangi BSC ve buna bağlı hücreden servis aldığı kontrol edilmelidir. Bu işlem çağırma kanalı üzerinden yapılmaktadır. Herhangi bir nedenle çağırma işlemindeki hata MS'e ulaşılamama olarak yansıyacak ve çağrı kurulamayacaktır. Çağırma prosedürü, MS'e bir bağlantı kurmasını emreder. MS'e bir işaretleşme bağlantısı tahsis edilmemiş durumdayken başlar. Çağırma prosedürü, MSC tarafından gönderilen Çağırma (Paging) mesajı ile başlar. Sonra BSC, belirtilmiş hücreleri kontrol eden her BTS'e bir Çağırma Emri (Paging Command) mesajı yollar. Sonra BTS, Çağırma kanallarına (PCH) çağırma bilgisini gönderir.



Şekil 3.7 - MS'e bir arama - Çağırma ve Acele Tahsis

3.2.2. SDCCH'in acele tahsisi (Immediate assignment)

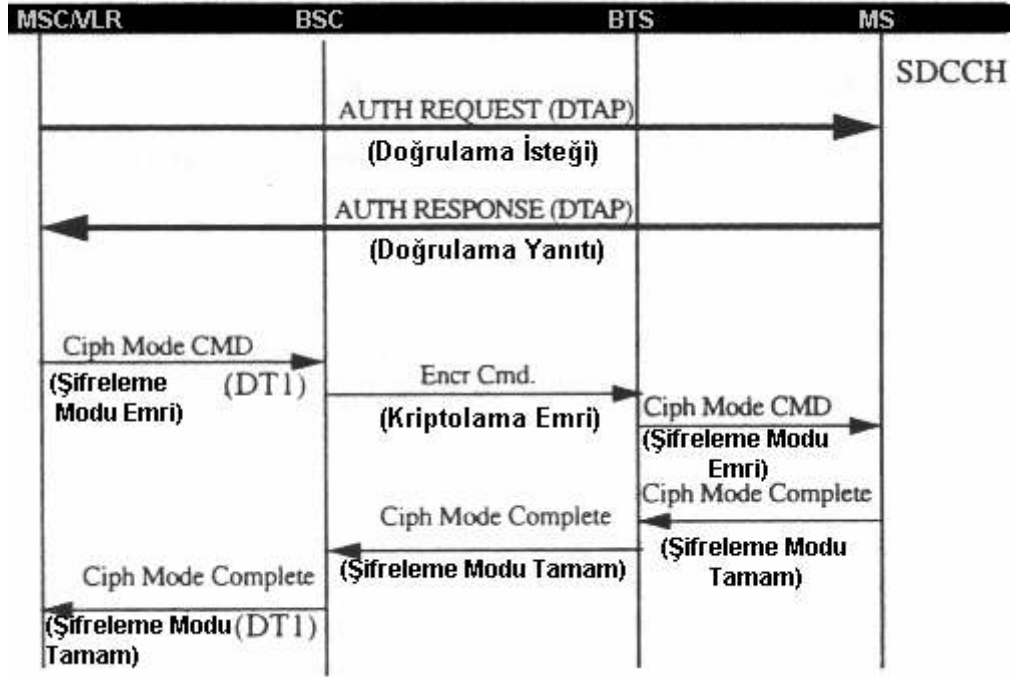
Acele Tahsis prosedürünün amacı, MS'i ortak bir işaretleşme kanalından SDCCH'a transfer etmektir. Çağırma emrine cevap olarak veya MS'den bir aramanın başlatılması durumunda yerine getirilir.

Prosedür, Baz İstasyonunda RACH'ta bilginin alınması ile başlar. Sonra BTS, Acele Tahsis prosedürünü başlatan, Kanal İsteği (Channel Required) mesajını BSC'e yollar. Eğer BSC'deki işlemci kapasitesi müsaitse, bir ayrılmış işaretleşme kanalı (SDCCH) tahsis edilir ve BTS bundan Kanal Aktifleştirme (Channel Activation) mesajıyla haberdar edilir. Kanal etkin hale getirildiği zaman, Kanal Aktifleştirme Onayı (Channel Activation Acknowledge) mesajı BSC'e geri döner. Sonra BSC, bir Acele Tahsis mesajını BTS'e yollar, o da tahsis edilmiş kanala (SDCCH) bağlanmasını anlatmak amacıyla MS'e yollar.

MS ve BTS, SABM ve UA mesajları yoluyla SDCCH üzerinde bir LAPDm bağlantısı kurar. Çağırma Cevap Bilgisi, bu mesajlar üzerinde geriye gönderilir. Baz istasyonu ve MS bu kanal üzerinden kontak kurduğu zaman, Tesis Etme İşareti (Establish Indication) mesajı BTS'ten BSC'e yollanır. BSC Tesis Etme İşareti mesajını aldıktan sonra MSC'e, Bağlantı yönelimli bir SCCP bağlantısı tesis etmesi için, bir Bağlantı İsteği (CR - Connection Request) mesajı yollar. Çağırma Cevap Mesajı, CR üzerinde geriye gönderilir. Bu mesaj, MSC'den BSC'e yollanan Bağlantı Onayı (CC - Connection Confirm) mesajı ile doğrulanır.

3.2.3. Doğrulama ve şifreleme (Authentication and ciphering)

SDCCH üzerindeki bir işaretleşme bağlantısı kurulduğunda, MSC, Rastlantısal Numarayı (RAND) ve Ki numara dizisini bir DTAP mesajı, Doğrulama İsteği (Auth Request), ile birlikte yollayarak doğrulama prosedürünü başlatır. MS, İşaretli Sonucu (SRES - Signed Result) içeren Doğrulama Cevabı (Auth Response) işaretini geriye cevap olarak yollar. Alınan SRES eldekiyle karşılaştırılır, eğer ikisi birbirini tutarsa, şifreleme sabiti Kc'i içeren Şifreleme Modu (CMD - Ciphering Mode) yollanır. BTS bu sabiti şifreleme amacıyla kullanır. MS, Şifreleme Modu Emrini (Ciphering Mode Command) aldıktan sonra, herşey şifrelenir. Şifreleme modu mesajları, açık olanı değil BSSMAP protokolünü kullanırlar.



Şekil 3.8 - SDCCH üzerindeki Doğrulama ve Şifreleme Emri Mesajları

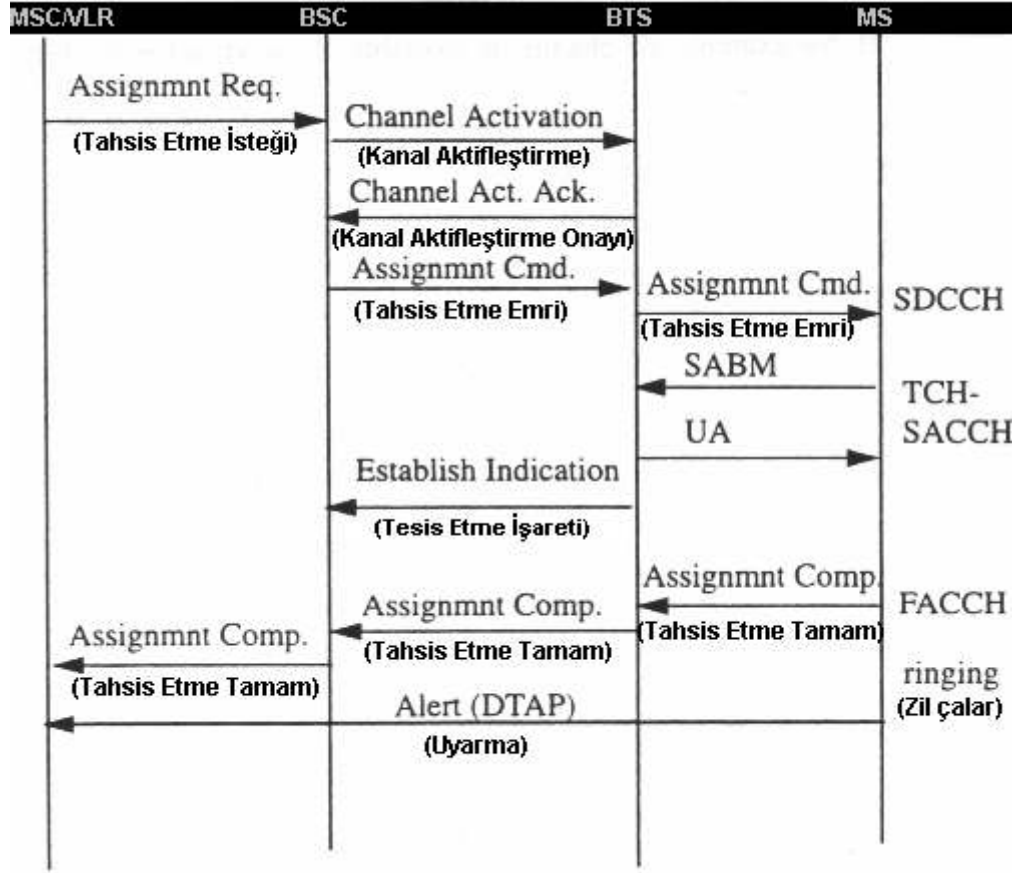
3.2.4. Trafik kanalının tahsisi

Doğrulama kontrolü geçtikten sonra, bir sonraki adım boş bir trafik kanalı tahsis etmek ve MS'e bu kanala bağlaşmasını emretmektir.

MSC, BSC'e frekansı ve zaman dilimini içeren Tahsis Etme İsteği (Assignment Request) mesajını yollar. Daha sonra BSC doğru hücrede bir trafik kanalı tahsis eder ve BTS'e Kanal Aktifleştirme (Channel Activation) mesajını yollar, cevap olarakta Kanal Aktifleştirme Onayı (Channel Activation Acknowledge) alınır. Trafik bağlantısı için bağlaşma grubu üzerinden bir yol kurulduktan sonra, BSC, BTS'e ve BTS üzerinden de MS'e yeni kanala (TCH) bağlaşması için Tahsis Etme Emri (Assignment Command) mesajını yollar.

MS, TCH'a bağlaşır ve SABM / UA mesajları ile SACCH açılır. Artık SACCH onay modundadır, Gönderme ve Alma sayaçları sıfıra kurulur. Sonra BTS, BSC'e Tesis Etme İşareti (Establish Indication) mesajını yollar. MS, Tahsis Etme Emrine (Assignment Command) FACCH üzerinden MSC'e geçen Tahsis Etme Tamam (Assignment Complete) mesajıyla cevap verir.

Bağlantı tesis edilmiştir ve MS'in zili çalar. MS tarafından, MSC'ye giden bir uyarma mesajı yollanır. Bu, açık bir DTAP mesaj tipidir. Daha sonra MSC, Zil kontrol tonunu oluşturur ve A abonesine yollar.



Şekil 3.9 - MS'i arama - TCH Tahsis Etme Prosedürü

3.2.5. Aktarma (Handover)

Aktarma prosedürü, MS'in bir trafik kanalından diğer bir başkasına transferinin gerekliliği durumunda (örnek olarak düşük radyo iletim kalitesi durumu) gerçekleştirilir. Bu prosedür, BSC'de bulunan yerleşik fonksiyon tarafından başlatılır. Yerleşik fonksiyon, mobil bağlantıları düzenleyen fonksiyon bloğuna, aday hücrelerin bir listesini yollar. Hücreler tercih edilen sıraya göre listelenmiştir.

Aktarma prosedürü, listenin en yukarisından bir hücrenin okunmasıyla başlar. Eğer birinci hücre, o anda bulunan hücreyle birlikte aynı BSC'e bağlıysa, bir İç Aktarma (Internal Handover) (intra BSC - BSC içinde) başlatılır. Öbür türlü bir Dış Aktarma (External Handover) (inter BSC - BSC arası) başlatılır. Örnek olarak eğer

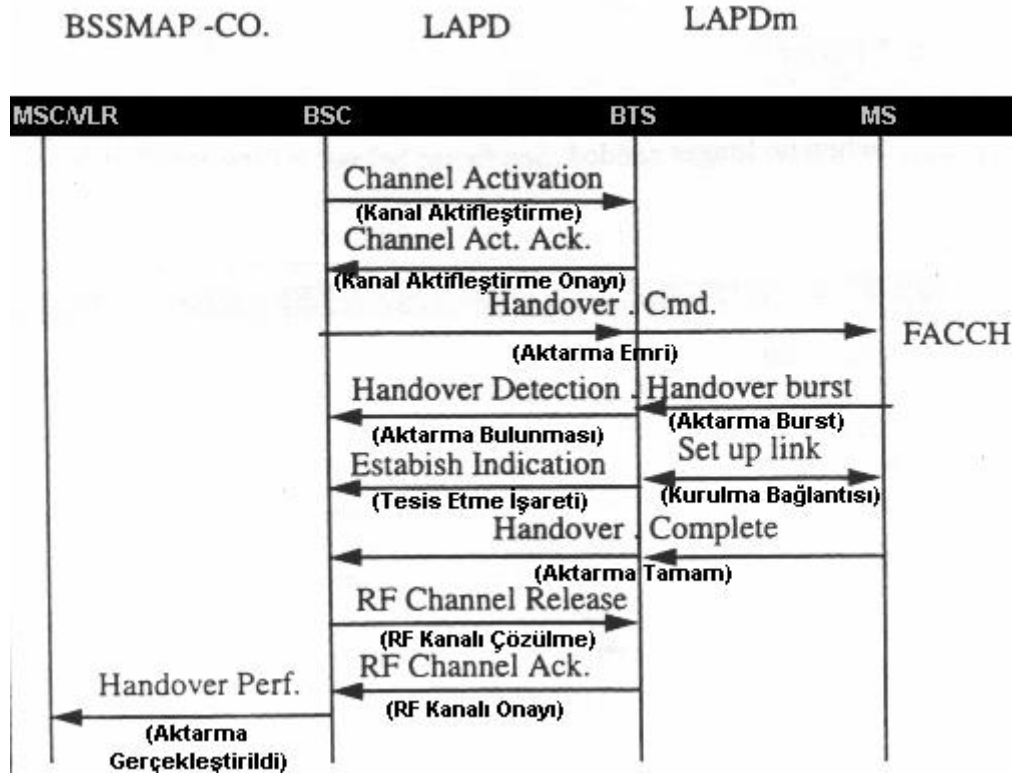
hiçbir kanal müsait değilse, listede bulunan bir sonraki hücre teşebbüs için kullanılır.

3.2.6. İç aktarma (Internal handover)

İç aktarma için, hem kaynak hem de hedef hücre aynı BSC'e bağlı olmalıdır. Yeni hücrede bir trafik kanalı (TCH) istenir.

Kanal Aktifleştirme mesajı, BSC tarafından yeni hücrede bulunan BTS'e gönderilir. Eğer o an ki bağlantıda şifreleme etkin ise, şifreleme bilgisi Kc, aktifleştirme mesajının içine eklenir. BTS, bir Kanal Aktifleştirme Onayı ile cevap verir. Sonra BSC, BTS yoluyla MS'e Aktarma Emri (Handover Command) mesajını yollar. MS bu mesajı aldığı zaman, yeni kanala bağlaşır ve oldukça kısa bir burst olan Aktarma Burst'unu (Handover Burst) geri gönderir. BTS, MS ile yeni kanalda bağlantıda olduğunu haber vermek için BSC'e Aktarma Bulunması (Handover Detection) mesajını yollar. Arama kurulumu sürecine benzer durumlardaki işaretleme amaçları için bir bağlantı kurulur.

BTS ile MS arasında bir bağlantı tesis edildiği zaman, Tesis Etme İşareti, BSC'e yollanır. MS'ten BSC'e Aktarma Tamam (Handover Complete) mesajı yollandığı zaman, yeni kanalda arama gözleme başlarken eski kanalda sona erer. Eski kanalda etkinliğin kalkması, BSC'den BTS'e RF Kanalı Çözülme (RF Channel Release) mesajının yollanması ile gerçekleştirilir. Sonra MSC, aktarmanın tamamlanmasıyla ilgili olarak Aktarma Gerçekleştirildi (Handover Performed) mesajı sayesinde bilgilendirilir.

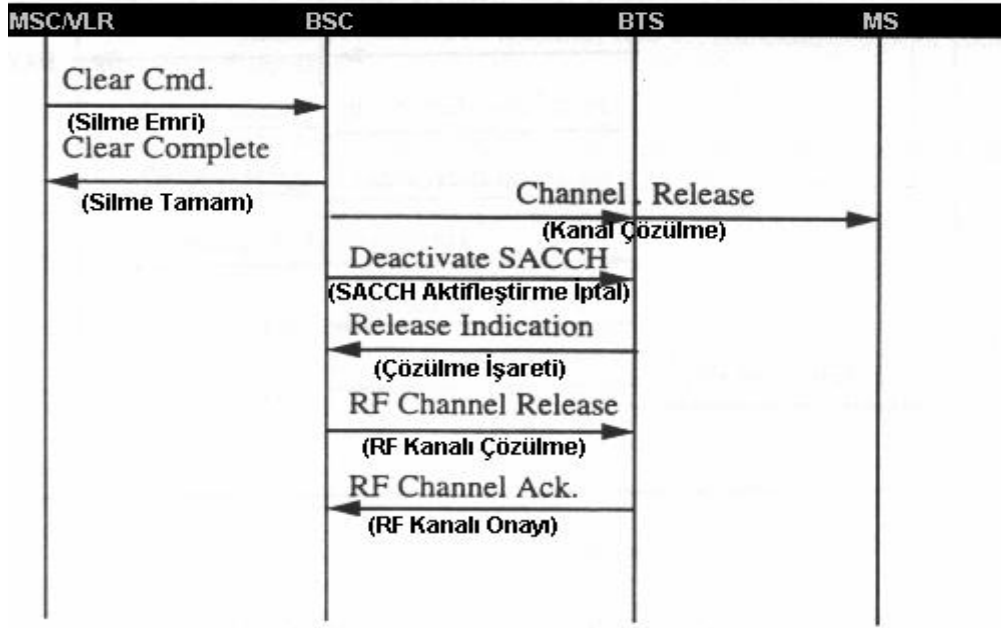


Şekil 3.10 - BSS içi aktarma

3.2.7. Silme (Clear)

Silme prosedürünün amacı, tahsis edilmiş kaynaklara daha fazla ihtiyaç kalmadığı zaman çözülmesidir.

Silme, Silme Emri (Clear Command) mesajının MSC tarafından BSC'e yollanmasıyla başlatılır. BSC'deki ilgili aletin çözülmesinden sonra, BSC, Silme Tamam (Clear Command) mesajını MSC'e yollar. Sonra BSC'deki arama gözleme durdurulur ve bu bağlaşma grubuna doğru olan yol çözülür. Bundan sonra BSC, MS'e Kanal Çözülme (Channel Release) mesajını ve BTS'e SACCH Aktifleştirme İptal (Deactivation SACCH) mesajını yollar. BTS, Çözülme İşareti (Release Indication) mesajıyla cevap verir ve BSC de tahsis edilmiş kanalı çözer. Son olarak BTS'e trafik kanalının çözülmesi için, RF Kanalı Çözülme (RF Channel Release) mesajı yollanır.



Şekil 3.11 - Silme için BSS işaretlenmesi

4. FREKANS ATAMADA KULLANILACAK ÖLÇÜTLER

4.1. Hücre Trafığı

Bir hücrenin üzerinde kaç kişinin konuştuğu sürekli olarak gözlemlenir. Bu sayede hücre yeterli kapasitede çalışıp çalışmadığı kontrol edilebilir. Haberleşmede bu yoğunluğu yani trafiği gözlemlemek için Danimarkalı trafik uzmanı A.K. Erlang tarafından oluşturulan trafik denetim yöntemi kullanılmaktadır. Erlang (E) olarak adlandırılan haberleşme hacmini ölçen bu ölçüt haberleşme tekniklerine göre farklı adlar almaktadır. GSM sistemi trafik bilgisi için Erlang-B formülünü kullanır.

Erlang –B formülü sınırsız kullanıcı için belirli N kaynağa katılımı öngörür. Gelen konuşma isteklerinin bir Poisson süreci içerisinde gerçekleştiği öngörülür. Örneğin GSM telefonu kullanıcıları. Burada gelen aramalar birbirinden bağımsızdır ve mesajın uzunluğu (s) ise (holding times - h) üstel dağılmıştır (exponentially distributed). Sınırsız kullanıcı durumunu ve yeteri kadar uzun sürede konuşma isteklerinin birbirinden bağımsız olmasını göz önüne alırsak, gelen konuşma isteği yoğunluğu (1/s) bir sabite (λ) yakınsayacaktır. Konuşmada kalma oranını ise toplam konuşmanın ortalama konuşma oranına (h) bölümü ile elde edebiliriz. Erlang-B tablosu hücreye gelen konuşma denemesinin kaç tanesinin blok, yani

kapasitenin dolması nedeniyle konuşamama, yaşayabileceği olasılığını hesaplar. GSM sisteminde gelen konuşma herhangi bir sıraya alınmadığı için arayan kişi kanal bulamadığı zaman direkt olarak blok problemi yaşayacaktır.

$$B(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (4.1)$$

Buna göre

$$B(0, A) = 1 \quad (4.2)$$

$$B(N, A) = \frac{AB(N-1, A)}{N + AB(N-1, A)} \quad (4.3)$$

Burada;

B: Hücresinin konuşma başlatma için yeterli kanal bulunamamasından kaynaklı engellenme (Blok) olasılığı

N: Sisteme servis veren kaynak sayısı, GSM için her bir kanal

A = λh : Trafik yoğunluğu

Frekans planlama yaparken trafik bilgisi son derece büyük önem taşır. Her hücresinin kapasitesi ve trafiği aynı değildir. Üzerinde çok miktarda abone konuşturan hücresinin de diğer hücelere göre özellikle frekans ataması yaparken belli önceliklerinin olması gerekmektedir. Yüksek trafik alan bir hücrede kötü frekans seçimleri nedeniyle kalite problemi olması kabul edilemezken düşük trafik alan hücrelerde fedakârlıklar yapılabilir. Bunun nedeni her iki hücre üzerinde bulunan abone sayıları arasındaki büyük farktır. Bir operatör en çok aboneyi memnun etmek için sistemlerini hazırlar.

Yapılan çalışmada trafik, ağırlık olarak çok kullanılmış, birçok aşamada doğrudan çarpan olarak zorlukların belirlenmesinde kullanılmıştır.

4.2. Aktarma (Handover)

Handover konu 4.2.5’de detayları bulunan ve GSM’in gezgin olmasını sağlayan, GSM’in en büyük üstünlüğüdür. Abone yer değiştirirken ilk başta konuşma başlattığı hücrede, uzaklaşacak ve sinyal seviyesinde düşüş meydana gelecektir. Bu nedenle çevresindeki en yakın, sinyal seviyesi uygun olan hücreye geçiş yapılır.

Aktarma istatistik olarak hücreler arası ölçülebilmektedir. İki hücre arasında ne kadar çok aktarma varsa, bu iki hücrenin birbirine o denli yakın olduklarını ve yakın veya aynı frekanslar verildiği takdirde birbirlerini kötü anlamda çok fazla etkileyebileceklerini gösterebilir.

Yapılan çalışmada hücreler arası aktarma bilgisi maliyet analizinde kullanılmış ve zorluk belirlemede en fazla komşusu olan, en fazla komşuluk yapan yani birçok hücrenin tam ortasında bulunan frekans atamsı g hücrelere öncelik verilmiştir.

4.3. Hücre evre Bilgisi

Hücreler çevresindeki insan yoğunluğuna ve coğrafik yapıya, kullanılan anten modeline, radyo baz istasyonu tipine, anten yükseklik ve eğimine, içinde kullanılan ilave ekipmana göre farklı şekilde servis verirler. Hiçbir hücre diğer bir hücre ile aynı şekilde servis vermesi beklenemez. Bununla beraber bazı bölgelerde hücre sayısı çok iken bazı bölgelerde hücre sayısı azdır.

Bu dağılımı genel olarak beş farklı kategori altına toplayabiliriz:

1. Çok Yoğun (Dense Urban) Bölge: İl merkezlerinin en önemli noktalarıdır. İnsan nüfusu oldukça yüksektir ve çok sayıda hücre yüksek kapasitede bu alana hizmet verirler. Örneğin: İstanbul’da Taksim, Ankara’da Kızılay
2. Yoğun (Urban) Bölge: İl merkezinin geri kalan noktalarıdır. İnsan nüfusu daha dağınıktır ve istasyonlar her sokak yerine her mahalleye servis verecek şekilde yayılmıştır. Örneğin Ankara Eryaman’da 3. Etap bölgesi
3. Az Yoğun (SubUrban) Bölge: İlçe merkezleri, önemli turistik alanlar gibi insan nüfusu bulunan fakat çok yoğun olmayan yerlerdir. Çok az istasyon ile tüm bölge kapsanmıştır. Örneğin: Ankara’da Ayaş ilçesi

4. Kırsal (Rural) Bölge: Köy, belde gibi insan nüfusunun bulunduğu fakat çok az olduğu yerlerdir. Bir istasyon ile birçok yer kapsanmaktadır.
5. Yol (Road) Kapsama: Yukarıdakilerin dışında bir nüfus kapsama sağlamayan fakat yol üzerinde bulunan yerlerdir. Bir istasyon ile büyük mesafelerde kapsama sağlanacak şekilde planlanırlar.

Yapılan çalışmada insan yoğunluğunun bulunduğu yerlerin öncelikleri arttırılmıştır. Bir hücre yüksek trafik alıp kırsal bir alanda ise frekans bulma sıkıntısı olmayacaktır, oysaki düşük trafik alan fakat şehrin göbeğinde bulunan bir hücreye frekans ataması, komşu hücre sayısının çok daha fazla olmasından dolayı, çok daha zor olacağından öncelikle ele alınmalıdır.

4.4. Frekans Atama Destek Sistemi (Frequency Allocation Support – FAS)

FAS hangi frekansın daha temiz olduğunu raporlayan bir Ericsson şebeke sistemidir. FAS uplink (MS'den BTS'e) yönünde girişimi ölçümler ve buna göre downlink (BTS'den MS'e) yönündeki girişimi raporlar.

4.4.1. Uplink ölçümleri (FAS Results)

Tüm uplink ölçümleri BTS üzerinde bulunan TRX (transceiver)'lerin tamamında uygulanır. Her 15 saniyede bir uplink girişimini gösterir bir örnek alınır. Bu örnekler belirlenen ölçüm süresi sonunda birleştirilerek üç temel bilgi; medyan değer, kırılma seviyesi ve alınan toplam örnek sayısı. Kırılma seviyesi tüm örneklemenin en altında kalan ve gereksiz, çok düşük değerlerin çıkartılmasıdır ve kullanıcı tarafından bunun değeri belirlenebilir.

4.4.2. Downlink ölçümleri (ICDM results)

Downlink ölçümleri MS tarafından yapılan ölçümleri temel alır. GSM standartlarına göre tüm MS'ler operatör tarafından belirlenen frekansları sürekli tararlar. Bu taramada en yüksek sinyal seviyesine sahip 6 BCCH frekansı (yayın frekansı) saniyede iki kere ölçümlenerek baz istasyonuna raporlanır. Bu rapora ölçüm raporu (measurement report) adı verilir.

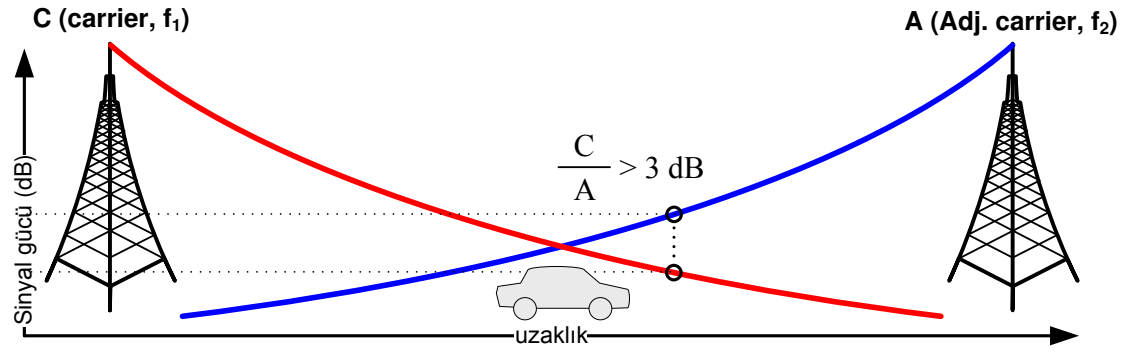
Bu rapor içerisinde sinyal seviyeleri, BCCH frekansları ve BSIC (Base Station Identity Code) bilgileri bulunur. BCCH hücrenin tüm bilgilerini taşıdığı yayın

kanalıdır. Hücrenin bağlı olduğu BSC, MSC bilgileri; çevresinde bulunan komşu hücrelerin isimleri; kullandığı ve MS'in kullanacağı tüm parametreler bu kanal üzerinden verilmektedir. Aynı şekilde BSIC'de hücrenin diğer hücrelerden ayrılmasını sağlayan tanımlama kodudur.

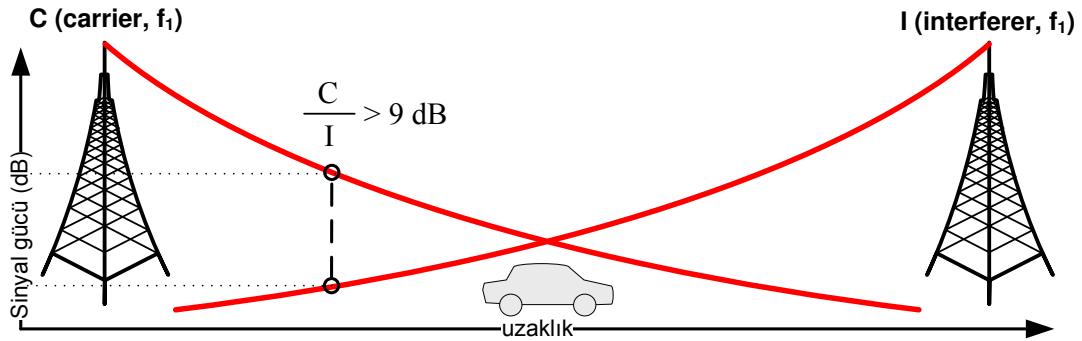
Her ölçüm sonunda raporlanan sinyal seviyeleri servis alınan mevcut hücre sinyal seviyesi ile karşılaştırılarak herhangi bir girişim potansiyeli kontrol edilir. Tüm ölçümler sonucunda bu veriler birer matrise yazılarak her hücrenin birbirini ne kadar etkileyebileceği verisi ortaya çıkar. Bu matris ICDM (Inter-Cell Dependency Matrix) olarak adlandırılır. İşlem sonunda iki adet matris oluşturulur. Birinci matris, aynı frekans (co-channel) etkisini gösterirken diğer matris ise yan frekans (adjacent channel) etkisini göstermektedir. Bu iki matris birleştirilerek hücrelerin birbirini hem ana kanal hem yan kanalda nasıl etkilediği basitleştirilmiştir. ICDM verisi sinyal seviyesini baz aldığından mevcut frekans yapısından bağımsızdır.

ICDM matrisleri aynı ve yan kanal için ICDM-C ve ICDM-A olarak ayrı isimlerle sahiptir. ICDM-C birbirlerini etkileyen hücrelerin aynı frekansın kullanımı durumunda birbirlerini ne kadar etkileyeceği ve girişim yaşanacağını hücrelerin trafiğine oranlayarak verir. ICDM-A ise aynı hesaplamayı bu sefer hücreler birbirinin yan frekansının kullanıldığı durumu verir. Frekans planı yaparken kirlilik hesabında temel alınacak veri ICDM matrisleri olacaktır.

İki ayrı matrisin olma nedeni her ikisinin de farklı taşıyıcı/kirletici oranına ($C/I - C/A$ ratio) sahip olmasından dolayıdır. C/I (Carrier to Interferer) ve C/A (Carrier to Adjacent) olarak adlandırılan bu oranlar sırasıyla taşıyıcının ana kanal kirleticisine ve taşıyıcı frekansın yan kanal kirleticisine desibel cinsinden sinyal seviye farklarıdır. Aynı kanal için C/I değeri 9 dB iken C/A 'da 3 dB'dir. Örnek verecek olursak servis veren hücre -70 dB sinyal seviyesindeyken çevresinde ki hücre -79 dB'den daha iyi sinyal veriyorsa ve her iki hücrede aynı frekansı kullanıyorsa girişim yaşanacaktır. Eğer bu iki hücre yan frekanslara sahipse ve komşu hücre -73 dB'den daha iyi sinyal veriyorsa girişim yaşanacaktır.

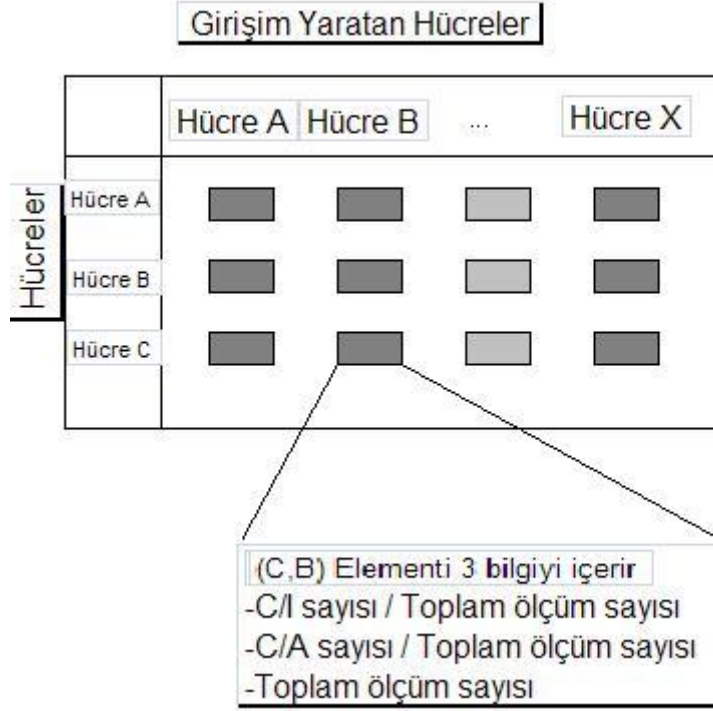


Şekil 4.1- Yan kanal girişim etkisi



Şekil 4.2- Aynı kanal girişim etkisi

ICDM matrisinde verilen etkileşimler Şekil 5.3'de verilen matris şeklindedir. Her hücrenin yanında hücreyi etkileyen diğer hücrelerin isimleri ve bu hücrelerin birbirini hem ana kanal hem yan kanalda ne kadar etkilediği verilmiştir. Etkilemenin büyük olması demek toplam kirlenme sayısının toplam ölçüm sayısına oranının büyük olması demektir. Bu bilginin yanına veri toplama sırasında toplam kaç ölçüm yapıldığı da verilmiştir. Örneğin Hücre A için toplam 10,000 ölçüm yapılsa ve bu ölçümlerin 1,000 tanesinde Hücre B'nin sinyal seviyesi tanımlı olan C/I değerinden büyük ise Hücre A'nın Hücre B'den etkilenme ICDM-C matris verisi 0.1 (1,000/10,000) olacaktır.



Şekil 4.3- ICDM Matrisinin ataması

4.4.3. Kirlenen trafik yüzdesi (Percentage interferred traffic –PIT)

PIT downlink yönünde bir hücrenin nasıl girişim aldığı hesaplanabilir. BTS ve MS tarafında sürekli olarak mesafe ve girişim seviyesine göre güç denetimi yapılır. BTS'e yakın bir MS gücünü kısarken, BTS'e uzak bir MS gücünü en yüksek seviyede tutacaktır. PIT hesaplamasında trafik yükü, devamlı olmayan iletim ve güç denetimi göz önünde tutularak hesaplanabilir. PIT sayesinde frekans planlaması sonucu kirlilik hesabı yapmak mümkündür. Çünkü PIT mevcut atanmış frekanslar sonucu bir hücrenin kullandığı frekansın diğer hücreler tarafından tam olarak nasıl etkilendiğini ve bu kötü etkinin hücre trafiğinin ne kadarını bozduğunu hesaplamaktadır.

$$PIT_{f\beta} = [\sum ICDM_{co-f\beta} + \sum ICDM_{adj-f\Omega}] \quad (4.4)$$

Burada,

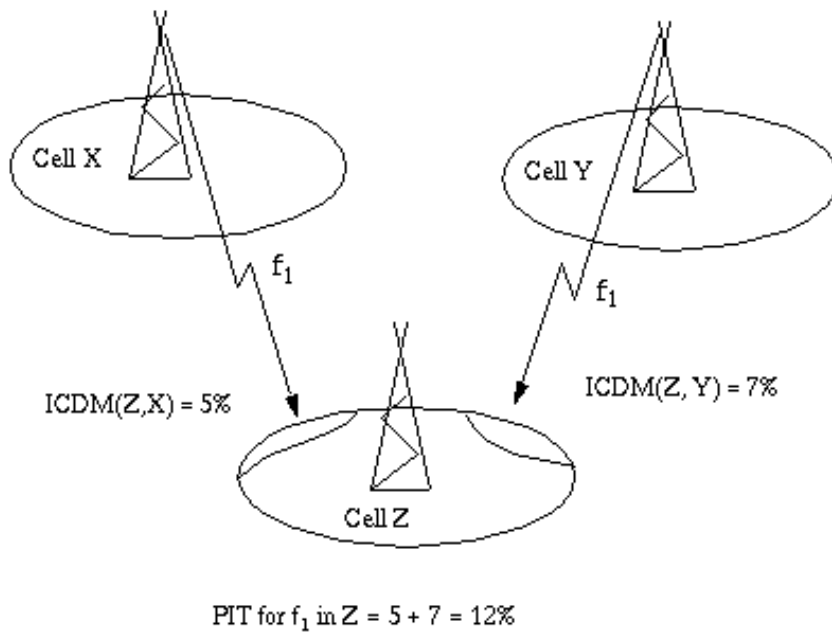
$PIT_{f\beta}$: β frekansını kullanan hücrenin PIT değerini,

$\sum ICDM_{co-f\beta}$: Hücreyi etkileyen diğer tüm hücrelerin ICDM aynı kanal değerlerini

$\sum ICDM_{adj-f\Omega}$: Hücreyi etkileyen diğer tüm hücrelerin ICDM yan kanal değerlerini ifade etmektedir.

PIT değeri tüm hücrelerin tüm frekanslarında hesaplanır. Örneğin, Z hücresi hem X hem Y hücreleri ile aynı frekansı f_1 frekansını kullansın. ICDM matrisine göre X hücresinin Z hücresini etkileme yüzdesi 5, Y hücresinin ise 7 olduğu ölçülmüştür. O halde f_1 frekansı için hem X hem de Y hücresinin etkisi gelecek ve bu frekansın bozulma oranı 12 olacaktır. Eğer Z hücresi 10 Erlang trafik alıyorsa, bu trafiğin %12'si yani 1,2 Erlang trafik kirli olacaktır. Algoritmada kullanılan kirlilik hesabı ve frekans atama sonrası denetimler için PIT çok büyük önem taşımaktadır.

Algoritmada kullanılan kirlilik hesabı PIT değerine bağlıdır ve her frekans atama sonucunda tüm PIT verileri yani kirlilik tekrar hesaplanarak frekans kirliliği optimize edilmiştir.



Şekil 4.4 - PIT Hesaplaması

Çalışmada hücrelerin birbirini etkileme durumunu gösterir bu matrisi alarak frekans atamalarını yaptım. Atama öncesi tüm frekansların tek tek bir önceki hücrelere atanan frekans atamalarına göre kirlilik durumunu bulup en temiz olanları seçmeye yönlendirdim. Bu anlamda işlemin en önemli frekans seçme işlemi yukarıda belirtilen özellikler kullanılarak yapılmıştır.

4.5. Temel Performans Göstergeleri

Hücrelerin tüm verileri, görüşme istatistikleri, kalite bilgileri sürekli olarak atanmış sayıcılar ile takip edilir. Bununla beraber bir çağrının kurulmasından bitişine kadar tüm aşamaları tek tek kontrol ederek hücrenin performansını takip etmek çok zordur. Bu nedenle dünya genelinde 3 temel performans göstergesi belirlenmiş ve gerekli sayıcılar bu göstergelerin formüllerinde yer almıştır.

Çalışmanın sonucunu analiz edebilmek için bu temel performans göstergeleri baz alınmıştır. Burada sağlanan iyileşmeler raporlanarak hangi durumda hangi iyileşmelerin sağlandığı ortaya çıkarılmıştır.

4.5.1. Çağrı başarı kurma yüzdesi (Call setup success rate – CSSR)

CSSR kısaca telefonun arama tuşuna basıldıktan sonra sinyal sesi gelene kadar geçen tüm haberleşmeleri kapsar. Bu anlamda formül konu 5 içerisinde anlatılan senaryoların gerekli sayıcılar bir çıktısıdır.

$$CSR \% = 100 \times \frac{CNROCNT + PDRAC}{(CNROCNT + PDRAC + RAACFA)} \times \frac{(CMSESTAB - CNDROP)}{CCALLS} \times \frac{(TCASSALL + ASS OTH)}{(TASSALL + ASS OTH)} \quad (4.5)$$

$$ASS OTH = OUTGOING(HOSUCBCL + HOSUCWCL) - INCOMING(HOSUCBCL + HOSUCWCL) \quad (4.6)$$

CNROCNT	: Rastgele erişim sayısı (Number of random accesses)
RAACFA	: Hata veren rastgele erişim sayısı (Number of failed random accesses)
PDRAC	: GPRS için Rastgele erişim sayısı (Number of packet data random accesses)
CCALLS	: SDCCH(Stand Alone Dedicated Channel) deneme sayısı (Number of SDCCH Attempts)
CNDROP	: SDCCH kesilme (drop) sayısı (Number of SDCCH Drops)
CMSESTAB	: SDCCH üzerinden yapılan kanal tayin sayısı (Successful MS

Channel Establishment on SDCCH)

TASSALL	: Atama denemelerinin tamamı (Assignment attempts for all MS classes)
TCASSALL	: Atama denemesi başarılı olanlar (Assignment complete for all MS power classes)
HOSUCBCL	: İstenen hücreye yapılan el değiştirme sayısı (Number of successful assignment handovers to better cell)
HOSUCWCL	: İstenmeyen hücreye yapılan el değiştirme sayısı (Number of successful assignment handovers to worse cell)

Kötü atanan bir frekans önce random access hatalarında artışa daha sonra SDCCH kurma oranında etki edeceğinden pilot bölge Yozgat ilinde frekans atama sonucunda bu göstergenin iyileşmesi ve %100 değerine daha da yaklaşması sağlanacaktır.

4.5.2. Çağrı sürdürülebilirliği (Retainability)

Çağrı başarılı şekilde kurulduktan sonra konuşmanın kesilmeden konuşmanın normal şekilde bitirilmesi performansı bu göstergeyle hesaplanır. Konuşma iki nedenden kesilebilir; konuşma aboneden bağımsız kendiliğinden kesilir, konuşma kalitesi çok kötü olduğu için abone tarafından kapatılır.

$$\text{Retainability \%} = \left[1 - \frac{(\text{tfndrop} + \text{thndrop} + \text{disbqa})}{\text{tfndrop} + \text{thndrop} + \text{disnorm}} \right] * 100 \quad (4.7)$$

disnorm	: Bağlantı kopma sayısı (Number of disconnections)
disbqa	:Kötü kalite nedeniyle bağlantı kopma sayısı (Number of disconnections at bad quality)
tfndrop	: Tam kanal konuşma kesilme sayısı (Number of dropped calls-Full Rate)
thndrop	: Yarım kanal konuşma kesilme sayısı (Number of dropped calls-Half Rate)

Yapılan çalışma ile özellikle kötü kalite nedeniyle konuşmanın kapatılma değerinde iyileşme sağlanarak ve Retainability performans göstergesinde yükselme meydana gelecektir.

4.5.3. Konuşma kalitesi (Integrity)

Konuşma esansında frekans kirliliğine bağlı olarak abone iyi, orta veya kötü kalitede konuşma yapar. Konuşma kalitesi 0 ile 7 arasında (en iyi kalite 0, en kötü 7) derecelendirilmiştir. Kalite 6 ve 7 konuşmaya imkân vermeyecek seviyede kötü olduğundan bu örneklerin çok düşük hatta hiç olmaması istenir.

$$\text{Integrity \%} = \left[1 - \frac{\text{QUAL60DL} + \text{QUAL70DL} + \text{QUAL60UL} + \text{QUAL70UL}}{\text{QUAL (00..70) DL} + \text{QUAL (00..70) UL}} \right] * 100 \quad (4.8)$$

QUAL00DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 0 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 0 reported on downlink.)

QUAL10DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 1 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 1 reported on downlink)

QUAL20DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 2 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 2 reported on downlink)

QUAL30DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 3 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 3 reported on downlink)

QUAL40DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 4 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 4 reported on downlink)

QUAL50DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 5 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 5 reported on downlink)

QUAL60DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 6 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 6 reported on downlink)

QUAL70DL: Downlink ölçüm raporunda kalite 7 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 7 reported on downlink)

QUAL00UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 0 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 0 reported on uplink)

QUAL10U: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 1 olan ölçüm sayısı (Number of MR

with quality 1 reported on uplink)

QUAL20UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 2 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 2 reported on uplink)

QUAL30UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 3 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 3 reported on uplink)

QUAL40UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 4 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 4 reported on uplink)

QUAL50UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 5 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 5 reported on uplink)

QUAL60UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 6 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 6 reported on uplink).

QUAL70UL: Upwmlink ölçüm raporunda kalite 7 olan ölçüm sayısı (Number of MR with quality 7 reported on uplink)

Çalışmanın en etkili göstergesi kalitede değerlerine yansiyacak ve kalite 6-7 örneklerin de belirgin iyileşmeler sağlanacaktır..

5. FREKANS ATAMA ALGORİTMASI

Frekans atama 2 ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım frekans atamaya hangi noktadan başlanacağı, ikinci kısım ise frekansların belirlenen sırada frekansların atanması ve atanan frekansların temizliğinin kontrolü olacaktır. Burada amaç döngüsel olarak eşiği değiştirmek ve hücrelere dağıtılan frekansları en verimli şekilde dağıtana kadar optimizasyon sürecini devam ettirmektir.

Amaç en çok aboneyi en temiz frekanslar ile konuşturmadır, bununla beraber bazı hücrelerde çok temiz frekanslar atanmışken çevresinde çok kötü frekanslı hücrelerin olması da kabul edilemez. Daha önceden bahsedildiği üzere frekans zıplaması (frequency hopping) bir kullanıcıya atanan frekansın sıralı giden her TDMA Frame ile değiştirilmesini öngörür. Bu sayede kötü bir frekans bile olsa bunun havada kalma süresi azaltılır. Aynı şekilde çok temiz frekansları olan hücrenin bazı frekansları bir miktar kötüleştirilerek çevresinde çok kötü frekansa sahip hücrenin de frekansları biraz iyileştirilebilir.

Frekans atama algoritmasının 3 önemli özelliği bulunmaktadır. Birinci önemi hücreler arası etkileşimi ölçmek için kullandığı bilgidir. Bu konuda yapılan birçok

çalışma genelde hücrelerin el değiştirme (handover) bilgisine göre frekans atama yapmaya çalışmaktadır. El değiştirme sıklığı iki hücrenin birbirini çok iyi etkilediğini yani girişime neden olabileceğini göstermez iken, hiç veya çok az komşuluk yaptığı bir hücrenin de mevcut hücreyi etkileme durumu olacaktır. Handover bilgisi hücreler arası herhangi bir sinyal seviyesi bilgisi taşımadığı için de gerçeği yansıtmaktan oldukça uzaktır. Ölçüm için tezimde kullanılan ICDM verisi ise canlı şebekeden gelen gerçek veriler olduğu gibi ayrıca yüksek doğruluktadır. İkinci önemli özellik ise kirli hücrelerin süzülmesi için kullanılan uyarlamalı eşik yöntemidir. Sistemi dengede tutan, kilitlenmesini önleyen ve hızlı çalışmasını sağlayan bu özelliktir. Sonuncu özellik ise kirlilik eşiğinin döngüsel olarak ayarlanmasıdır. Uyarlamalı eşik sayesinde algoritmanın hem hızlı çalışması sağlanmış hem de sistemin döngü içinde kilitlenmesi önlenmiştir. Ayrıca kirlilik eşiğinin sürekli uygun değere getirilmesi ve her adımda denetim ile en ideal frekans planının elde edilmesi sağlanmıştır.

5.1. Hücre Frekans Zorluğu Bulma Önceliği

Frekans atama algoritmasının en önemli özelliği frekans atanacak hücrelerin seçilmesinde ön plana çıkmaktadır. Hücreler frekans atamasına girmeden önce frekans bulma zorluğu tespit edilip en zor olandan başlamak en uygun çalışma olmuştur. Zira en zora frekans atandığı zaman çevresindeki hücelere frekans bulmak daha kolay hale gelmiştir. Amaç hücrelerin frekans kirlilik seviyesini en aşağıya çekmektir.

Zorluk hesabının amacı elimizdeki veriler ile oluşabilecek maliyeti hesaplamaktır. Maliyet ise frekans bulma zorluğudur ve bu zorluk hücrenin kendi özelliklerine ve çevre hücelere olan bağına göre değişmektedir.

$$Z_a = [\sum ICDM_{co-a} + \sum ICDM_{adj-a}] * TRF_a * TRX_a * \zeta D_a \quad (5.1)$$

Burada,

Z_a : Frekans planlanacak hücrenin zorluğunu

$\sum ICDM_{co-a}$: ICDM matrisine göre frekans planlanacak hücreyi etkileyen hücrelerin ana kanal girişim değerlerinin toplamı

$\Sigma ICDM_{adj-a}$: ICDM matrisine göre frekans planlanacak hücreyi etkileyen hücrelerin yan kanal girişim değerlerinin toplamı

TRF_a: Hücrenin trafiğini

TRX_a: Hücrenin TRX sayısını

ÇD_a: Çevre durum bilgisini vermektedir ve öncelik sırasına bağlıdır

Frekans zorluğu 4 temel göstergeden oluşur; birincisi hücrenin komşu sayısıdır, yani ne kadar çok komşusu varsa bu hücrenin o kadar çevredeki komşu hücrelerinden etkilenme riski vardır. İkincisi hücrenin trafiğidir, bir hücre ne kadar yüksek trafik alıyorsa o kadar çok aboneye servis veriyordur, o halde hücre üzerinde çok miktarda TRX (alıcı-verici ünitesi) bulunacaktır. Her TRX bir frekans olduğundan hücrede ne kadar çok TRX varsa o hücrenin kullanacağı frekans sayısı da o kadar çok olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken konu ise trafiğin hangi zaman veya zamanlarda alınması gerekliliğidir. Eğer tüm hücreler için tek bir saat belirlenir ve o saatin trafik bilgisi kullanılır ise hücrelerin kendilerine has en yüksek trafik yaşadıkları an göz ardı edilecektir. Aynı şekilde günlük toplam trafiğe bakılırsa sadece önemli bir zamanda çok yüksek trafiği olan hücreler göz ardı edilecektir, ayrıca haftanın sadece bir gününü almak da hatalıdır. O güne has bir trafiğin oluşması muhtemel olacağından tüm haftayı kapsayacak bir trafik ortalaması daha güncel sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Üçüncü ve en önemli veri ise hücrenin ICDM çıktısıdır. ICDM bilgisi ile bir hücreyi etkileyen hücrelerin o hücreye ne kadar girişim yaratabileceği pratik olarak hesaplanabilmektedir. Örneğin hücrenin trafiği yüksek ve komşusu çok olduğu halde girişim problemi yaratmayacak şekilde çok iyi tasarlanmış bir hücrenin frekans bulma zorluğu çok daha düşük olacaktır.

Bir dördüncü gösterge ise isteğe bağlı olarak öncelik tanımlaması yapılmasıdır. Bu sayede hücreye ilave frekans bulma zorluğu eklenebilir. Amaç önemli noktalara servis veren hücrelere öncelik tanımdır, (Örneğin TBMM, Hastaneler, vs...).

5.1.1. Frekans zorluğu ve kirlilik hesaplaması

Her hücrenin günlük hatta saatlik tüm verileri şebekede bulunur. Bu verilerden günlük komşu hücre sayısını ve yaptığı miktarı; hücrenin en yoğun saatindeki trafik bilgisini çekebiliriz. Hücrenin tüm gün toplam trafiğini veya tüm hücreler için belli

bir saat trafiğini almak frekans atamasında sorun çıkartacaktır. Tüm hücrelerin en yoğun anına göre en kötü durum frekans planlaması daha verimli sonuçlar vermiştir. Ayrıca şebekeden frekans planlaması öncesi istenilen zaman diliminde alınabilecek ICDM verisi de hazır olacaktır. Genel olarak ICDM verisi haftanın tüm günlerinde saat:09.00–19.00 arasında genelde abonenin en mobil olduğu dönemde toplanır.

Tüm bilgileri aldığımız zaman aşağıda örneği gösterilen tablolarda tüm veriler elimizde hazır olacaktır. Burada 5 hücre için trafik, çevre durum bilgisi, TRX sayıları ve ICDM çıktıları görülmektedir.

HÜCRE ADI	TRAFİK BİLGİSİ (Erlang)
A1	40
A2	35
A3	3
B1	15
B2	50

Tablo 5.1 Hücrelerin bir haftalık trafik dağılımı

HÜCRE ADI	TRX Sayısı	Çevre Bilgisi
A1	2	4
A2	3	5
A3	4	4
B1	6	3
B2	7	2

Tablo 5.2 Hücreleri TRX sayısı ve çevre bilgisi

HÜCRE ADI	GİRİŞİM YARATAN HÜCRENİN ADI	CO-CHAN. (%)	ADJ-CHAN (%)
A1	A2	0.8	0.25
A1	A3	0.45	0.13
A1	B1	0.15	0.2
A1	B2	0.12	0
A2	A1	0.65	0.33
A2	A3	0.57	0.15
A2	B1	0.34	0.3
A2	B2	0.05	0.02
A3	A1	0.4	0.15
A3	A2	0.7	0.4
A3	B1	0.15	0.05
A3	B2	0.25	0.1
B1	A1	0.1	0
B1	A2	0.15	0.03
B1	A3	0.3	0.18
B1	B2	0.75	0.42
B2	A1	0.1	0
B2	A2	0.3	0.18
B2	A3	0.05	0
B2	B1	0.6	0.3

Tablo 5.3 Hücrelerin Komşuluk İlişkileri ICDM Sonucu

Zorluk hücrenin ICDM matrisindeki değerleri, trafiği ve TRX sayısı ve hücre öncelik bilgisi çarpımı ile bulunur. Bu sayede özel bir normalizasyona gerek kalmaz.

Bu verilere ve formül (5.1)'e göre ise hücrenin frekans bulma zorluğu Tablo 5.4'de verilmiştir.

CELL	ZORLUK
A1	1265.25
A2	672
A3	1071
B1	521.1
B2	105.6

Tablo 5.4 Hücrelerin frekans bulma güclüğü

Bu veriler kullanılarak en yüksek frekans bulma zorluğu olan hücre ilk frekans atamasına girecek şekilde sıralanır.

Frekans kirliliği ise ICDM matrisine göre aynı veya yan frekansı almış hücrelerin mevcut hücrenin trafiğini ne kadar etkilediği şeklinde hesaplanmaktadır. Bulunan değer hücrenin toplam kirliliğini oluşturacaktır. Frekans hopping özelliği nedeniyle toplam frekans değeri tam olarak kirliliği ifade edemez bu nedenle hücrenin ortalama TRX başına düşen kirliliği önem taşımaktadır. Ortalama TRX kirliliği ile mevcutta kirli olan bir frekansın diğer temiz frekanslarca karşılanabilmektedir.

$$TK = [\sum ICDM_{co} + \sum ICDM_{adj}] * TRF \quad (5.2)$$

$$OK = TK / \sum TRX_{pc} \quad (5.3)$$

Burada

TK: Toplam Kirlilik

ICDM_{co}: ICDM matrisinde etkileyen hücrelerin aynı kanal değerler toplamı

ICDM_{adj}: ICDM matrisinde etkileyen hücrelerin yan kanal değerler toplamı

TRF : Hücrenin toplam trafiği

OK : Ortalama Kirlilik

TRX_{pc} : Hücre başına düşen toplam TRX sayısı

Kirlik oluşma nedeni çevresinde bulunan çevre hücrelerin frekans bandında yeterli sayıda frekans bulunmaması nedeniyle atanan frekansların artık birbirlerini etkiler duruma gelmesi ve bit hata oranının artmasıdır. Eşik ilk başta hiç kirlilik olmayacağını öngörerek 0 olarak tanımlanmıştır. Uyarlamalı eşik değişimi ise formül (5.4)'de verilmiştir.

$$Y = M + ([M - OK] / \mu) \quad (5.4)$$

Y:Yeni Kirlilik Eşiği (Bir sonraki adım için kabul edilen eşik değeri)

MK:Mevcut Kirlilik Eşiği

OK:Ortalama Kirlilik

μ:Değişim hız belirleyici (eşik adım genişlik belirleme sabiti)

olarak tanımlanmıştır.

5.2. Frekans Atama Süreci

5.2.1. Frekans atama algoritması çalışma prensibi

Frekans atama algoritması ilk olarak tüm hücrelerin trafik, ICDM, çevre koşulları (Çok yoğun bölge, yoğun bölge, vs...), kullanılacak frekans sayısı (TRX sayısı) ve hücre ile ilgili özel durum bilgisi (VIP hücre, Acil durum hücresi, vs...) yüklenir.

Bu bilgilere göre frekans bulma zorluğu hesaplanır ve en zor olana kullanılacak TRX sayısı kadar 1'den başlayacak şekilde 200 KHz guard verilerek frekanslar atanır (örneğin 4 TRX için atanan frekanslar 1, 3, 5, 7 olacaktır). Daha sonra sıradaki en zor hücre alınacak ve bir önceki hücrenin bu hücrenin etkisi ve kullandığı frekanslara göre tüm bandın kirliliğini çıkartacak. Sonrasında atanan frekanslara göre daha önceden atanmış frekansların kirliliği tekrar hesaplanıp ortalama ve toplam kirlilikte gerekli eşik seviyesinin geçilip geçilmediği kontrol edilir ve eşik altında kalmışsa sıradaki hücreye frekans atamaya geçilir, eğer kirlilik eşikten fazla ise ilk önce kirlilik eşiği arttırılır. Bu sayede sistemin döngü içinde kalıp kilitlenmesi önlenmiş olur. Kirlilik eşiği uyarlamalı olarak değişmektedir. Bu sayede sistemdeki kirlilik değişimine hem daha hızlı karşılık verildi hem de kirliliğin düşük olduğu yerlerde eşik yüksek alınarak bu hücreler için temiz frekansların atanması sağlandı. Daha sonra kirli hücre ile bu hücrenin ICDM bilgisine göre en çok etkileyen 5 hücrenin eğer atanmış ise frekansları silinir ve başta en kirli olarak hesaplanan hücre için ICDM verisi ile tüm frekanslarının kirliliği tekrar çıkartılıp uygun frekans atanır. 5 komşusunun seçilmesi mevcut temiz 5 hücre ve 1 kirli hücre yerine 6 daha az temiz hücrenin atanması ve kirliliğin hücreler arasında dağılması sağlanır. Sistem daha sonra zorluk derecesi en yüksekten başlayarak frekans atama işlemine döngüsel olarak devam eder.

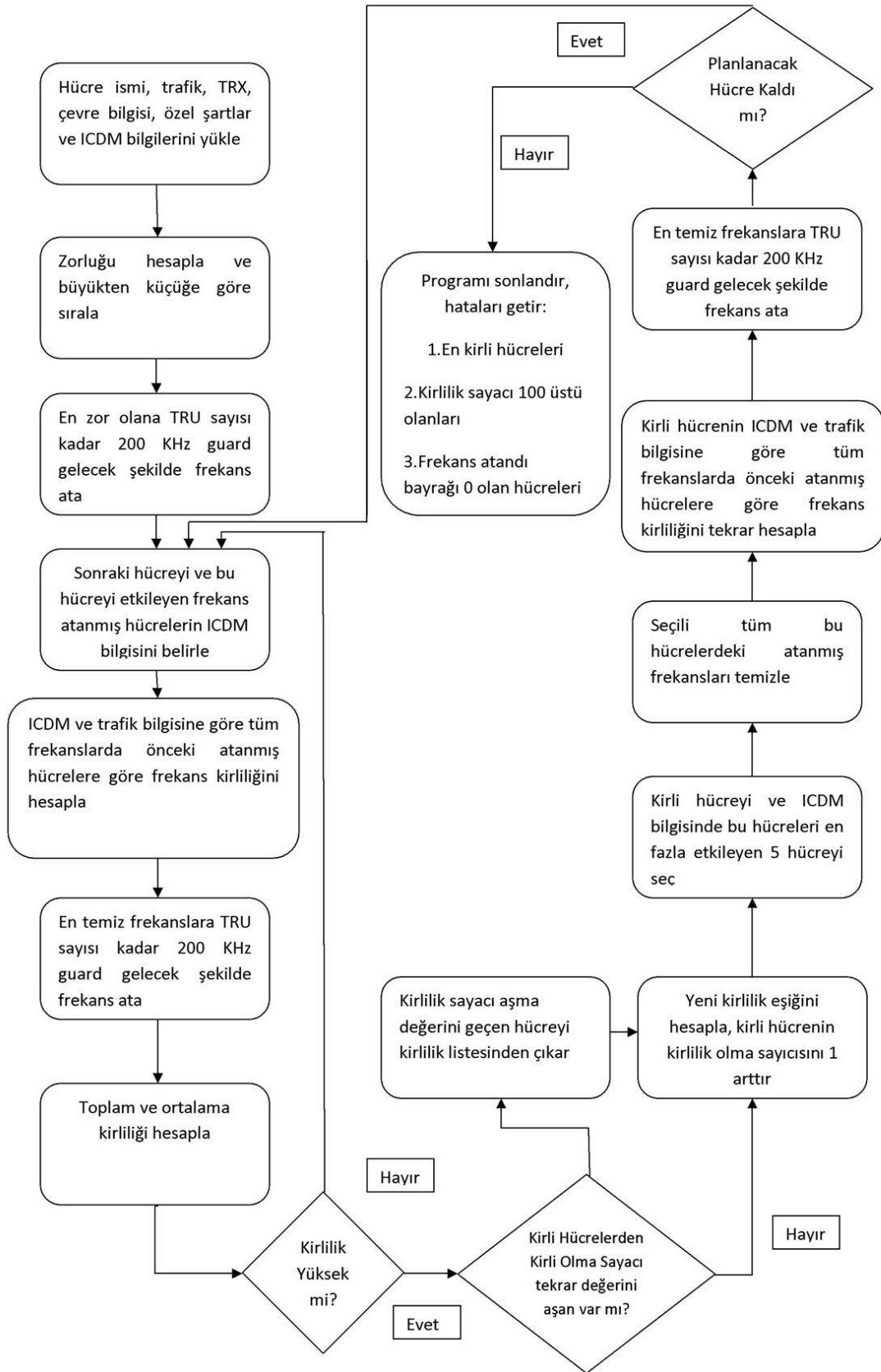
ICDM bilgisi hücrenin servis verdiği tüm mobil cihazların yani cep telefonlarının çevre hücreleri ölçüp raporlaması ile oluşturulduğu için kirliliğe karşı son derece duyarlıdır. Ölçüm sonuçlarının doğruluğunu etkileyen en önemli faktör mobil telefon ile BTS arasındaki haberleşme sırasında havadaki girişim ve beyaz kirlilik etkisidir. Normal olarak bu etki ölçümlenen hücrenin çevre hücreye etkisi oranına bağlıdır. Bu oran desibel cinsinden hesaplanmasından dolayı aslında ölçümlenen sinyaller birbirinden çıkartılır. Sinyallerin çıkartılması mevcut kirliliğin de çıkartılmasına neden olacağından ICDM verisi kirlilikten en az etkilenir. Sistemde

bulunan bu kirlilik ve kayıpları bertaraf etmek için konu 3.2’de de bahsedilen yöntemler kullanılmaktadır. Sisteme kirlilik etkisini eklemek için ayrıca 2 dB girişim payı eklenmiştir. Bu pay daha önceden yapılan ölçümler sonucunda Okumura-Hata tarafından yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir, [31,32]. Böylelikle ICDM matrisinde oluşacak hata farksal olarak indirgenmiş ve minimize edilmiş olacaktır, [33].

$$SS_{req} = MS_{sens} + RF_{marg} + IF_{marg} + BL \quad (5.5)$$

Burada, SS_{req} : Gerekli sinyal seviyesi, MS_{sens} : MS hassasiyeti, RF_{marg} : Rayleigh Fading payı, IF_{marg} : Girişim payı ve BL : Sinyalin vücut üzerinde gerçekleşen kaybı olarak verilmiştir.

Bu algoritma ile hem en zor (veya en önemli) hücrelere sırası ile frekans atama yapılmakta hem kirlilik sadece belli hücreler üzerinde yoğun olacağına kirlilik tüm hücrelere dağıtılarak kullanıcının hissedeceği ortalama kirlilik değerleri azaltılmıştır. Ayrıca, yapılan kirlilik eşiği uyarlamasıyla ile bazı hücreler arasında kaçınılmaz olan kirliliğin sistemi kilitlemesinin önüne geçilmiştir.



Şekil 5.1 Frekans Planlama Algoritması

5.3.Frekans Planlama Programının Çalışması ve Karşılaştırmalar

5.3.1. Program çıktısı

Frekans atama programı sonucunda 3 temel bilgi verilir. İlk olarak hücrelerin isimleri ve bu hücrelere atanacak frekanslar, daha sonra kirliliği yüksek olup her daim kirlilik eşiğinin üstünde kalan hücreler ve sonuncu olarak kirlilik ortalamaları kullanıcıya sunulur. Atanacak frekansların yanında kirliliklerinin verilmesi ve kirli hücrelerin ayrıca belirtilmesi kullanıcıya frekans planı yapmadan önce hangi hücrelerin durumunun kritik olduğunu gösterip donanımsal değişiklikleri için fırsat tanıdığı olur.

HÜCRE	TRX	TRAFFIC	ÇEVRE BİLGİSİ	KULLANILACAK FREKANSLAR	ORTALAMA FREKANS KİRLİLİĞİ	TOPLAM FREKANS KİRLİLİĞİ
BASIB1	2	6.5	2	10.91	12	24
BASIB2	3	16.5	1	12.93.95	19	56
YOZGT1	4	32.2	5	14.97.99.120	11	45
YOZGT2	6	20	5	19.103.105.110.112.118	11	65
YOZGT3	7	18.7	4	82.86.88.90.107.116.114	11	78
YOZRL1	8	35.4	3	13.16.18.84.89.94.101.111	11	91
YOZRL2	4	22.5	3	11.92.98.115	6	22

Şekil 5.2 Frekans Planlama Programı Çıktısı

5.3.2. Program performansını etkileyen faktörler

Frekans atama programı kullanıcı tarafından atanan eşik değerlerine göre sonuç verme hızı değişmektedir. Hesaplama hızı arttıkça ideal frekans planından ödün verilmektedir. Bununla beraber normal bir bilgisayar kullanıldığında işlemlerin hızlı sürebilmesi için gerekli artırımlar kullanıcıya bırakılmıştır.

Test amacıyla bu değişkenler üzerinde değişiklik yapılmıştır. Değişiklik yapılarak programın sonuçlanma zamanları ve toplam kirlilik sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla kirlilik eşiği artırım adımı değiştirilmiştir.

Kirlilik eşik adımı eşiğin her seferinde belli bir oranda arttırılması ile sistemin döngü içinde kilitletmesini önlemesi amacıyla kullanılmaktadır. Eğer eşik sabit olsa aynı hücre defalarca kirli olarak temizlenmeye çalışılacak fakat başarı sağlanamadığı için program döngüde kalacaktır. Eşiği sabit tutup tek seferde yüksek bir değer vermekte doğru frekans planlanmasının yapılmasını engelleyecektir. Bu nedenle

kullanılan eşik artırım adımı her seferinde eşiği belli bir miktar arttırarak hem sistemin kilitlemesi önlenerek hem de sabit yüksek bir eşik vermekten daha iyi frekans planı sağlanacaktır.

Eşik değişimi 2 ana senaryo üzerinden toplam 12 farklı eşik artırım adımı üzerinden değiştirilerek program performansı ölçümlenmiştir. Birinci senaryoya göre artırım adımı her seferinde sabit bir değer doğrultusunda artacak şekilde arttırılmıştır. İkinci senaryoda ise kirlilik eşiğinin ortalama kirliliğe göre uyarlayıcı kirlilik formülü uygulanmıştır. Bu adaptasyon mevcut kirliliğin ortalama kirliliğe farkının belli bir kısmının kirliliğe eklenerek yeni kirlilik değerini oluşturması şeklinde çalışmaktadır. Bu sayede ortalama kirlilik eşikten düşük ise eşik değeri düşürülecek, kirlilik arttığı zaman da belli kabuller doğrultusunda doğrusal olmayan bir artış gerçekleşecektir.

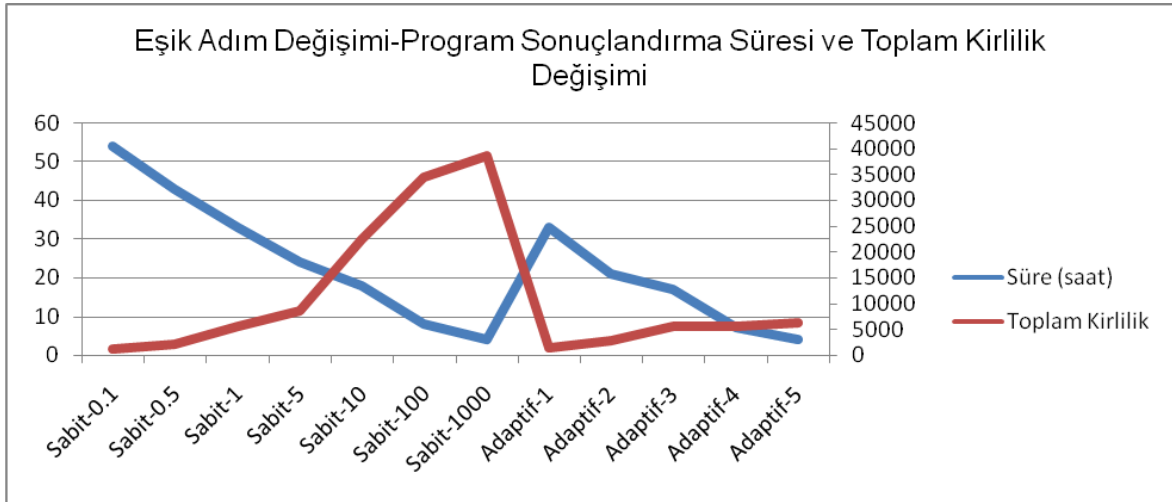
Performans hızını ve ortalama toplam kirliliği değiştiren bir diğer önemli durum ise kirlilik eşiği yüksek hücreye tekrar frekans planlanırken, kirli hücreyi etkileyen hücre sayısının seçimidir. Normalde 5 hücre seçilmektedir. Bu değer arttırıldığı zaman tekrar frekansı planlanacak hücre sayısı döngü içinde artacaktır. Bu durum hem hızı olumsuz yönde etkileyecek hem de döngü içine daha çok giren hücreler, kirli olma eşiğini aşacağından frekans planından çıkacaktır. Bununla beraber bu sayının 3'e çekilmesi işlemi hızlandıracak fakat kirlilik daha az hücreye dağıtıldığı için frekans kirlilik ortalaması yüksek çıkacaktır.

Formül (5.4)'de verilen kirlilik eşiği optimizasyonunda bulunan μ değişkeni ile algoritmanın ortalama kirliliğe verdiği yanıtın hızı değiştirilmektedir. Yüksek bir değer kirlilik eşiğinin daha yavaş artması veya azalmasına neden olacak, düşük bir değer ise eşiğin bir anda çok hızlı yükselmesi veya düşmesine neden olacaktır. Bu katsayıyı değiştirerek sistemin hızı ve doğruluğu değiştirilebilir.

Test amacıyla her iki senaryo için sistemin hızını değiştirecek değerler atanmış ve bunun sonucundaki toplam kirlilik karşılaştırılmıştır.

Eşik Adım Değişim Tipi	Eşik Adım Değişim Değeri
Sabit-0.1	0.1
Sabit-0.5	0.5
Sabit-1	1
Sabit-5	5
Sabit-10	10
Sabit-100	100
Sabit-1000	1000
Adaptif-1	$Y=M+([M-O]/1)$
Adaptif-2	$Y=M+([M-O]/5)$
Adaptif-3	$Y=M+([M-O]/10)$
Adaptif-4	$Y=M+([M-O]/50)$
Adaptif-5	$Y=M+([M-O]/100)$

Şekil 5.3 Kirlilik Eşik Adım Değişim Tipleri ve Değerleri



Şekil 5.4 Kirlilik Eşik Adımı Değişimi ile Çalışma Süresi-Kirlilik Değişimi

5.3.1. Programın çalışma sınırlarının belirlenmesi

Programın çalışma sınırlarını ölçmek amacıyla temel parametrelerinde değişiklikler yapılarak hız ve kirlilik bilgileri karşılaştırılmıştır.

5.3.1.1. Zorluk derecesine göre sıralama yapılmadan rastgele bir sırada frekans atanarak hücre seçilmesi

Hücre frekans bulma zorluk değeri kullanılmadan, rastgele seçilen sırada frekans planlamasının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla zorluk değeri belirlenmeden

hücrelerin isim sırasında frekans atama işlemi programda denenmiştir. Deneme Yozgat ilinde frekansları planlanan ve kirlilik değeri belli olan hücrelere uygulanmıştır. Frekans planlama sonucunda daha önceden 5600 olan kirlilik değeri 7500 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca işlemin tamamlanma süresi de uzamıştır. Daha önceden 17 saat sonunda sonuç alınabilirken bu süre 21 saate çıkmıştır.

Bu nedenle frekans bulma zorluğu derecesine göre sıralama yapılarak, algoritmaya başlanması gerekmektedir. Böylelikle hem daha iyi bir frekans planı elde edilecek hem de daha kısa sürede sonuç alınacaktır.

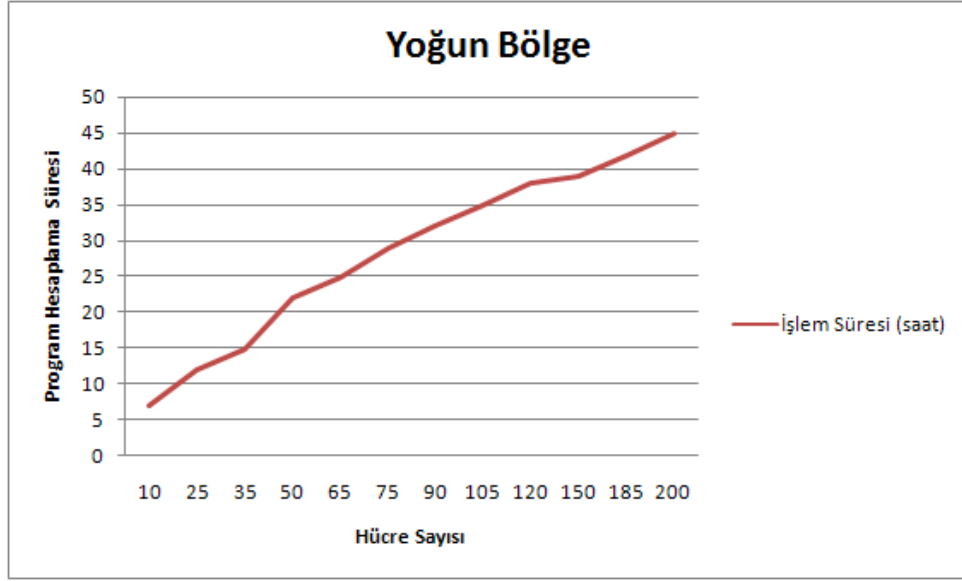
5.3.1.2. Zorluk derecesine göre sıralama yapılarak ilk hücreye atanacak frekans kümesinin değiştirilmesi

Hücrede zorluk derecesi kullanılırken ilk hücreye atanacak frekans değerleri değiştirilirse ortaya çıkacak durum araştırılmıştır. Normalde ilk hücreye TRX sayısı kadar 1 numaralı frekanstan başlayıp birer frekans atlayarak frekans ataması yapılırken, bu sefer 19 numaralı frekanstan başlayarak ikişer frekans atlanarak frekans atanması sağlanmıştır. İşlem 17 saat sonunda kirlilik değeri 5645 olarak çıkmıştır. Frekans atamasının değişik noktadan başlaması kirlilik ve hız almak anlamında sistemi önemli ölçüde etkilememiştir.

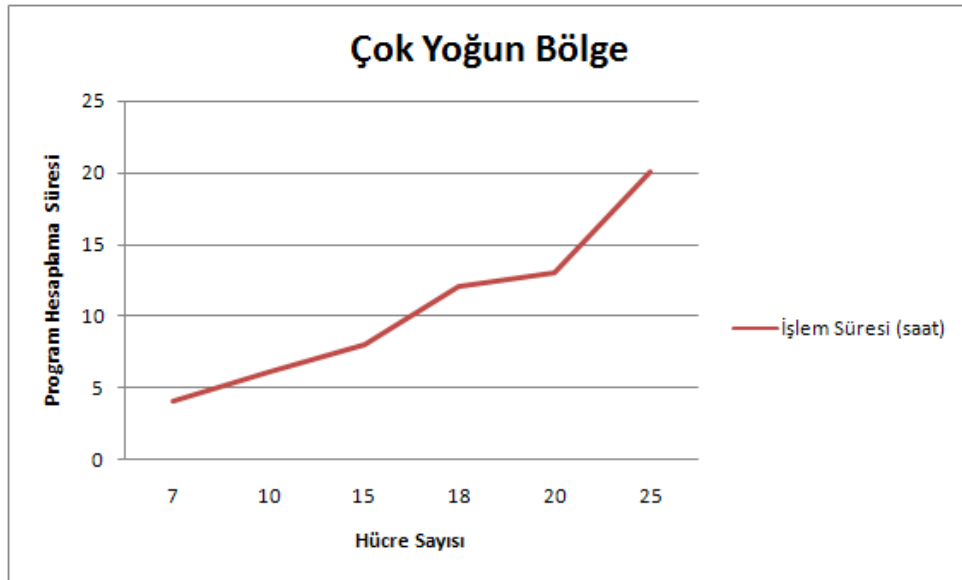
Bu nedenle frekans atama sırasında hangi noktadan frekans atanmaya başlanacağını hesaplamak için özel bir çalışmaya gerek kalmamıştır.

5.3.1.3. Değişik hücre sayılarında programın hesaplama hızının ve güvenilirliğinin belirlenmesi

Frekans planlama programı Yozgat il merkezinde 25 hücre için denenmiştir. Programın hesaplama hızını test etmek için Yozgat il merkezi (yoğun) ile Ankara'nın Kızılay bölgesinde (çok yoğun) bulunan hücrelerden sırasıyla belirlenen sayılardaki hücre için frekans planlaması yapılmıştır. Tüm denemelerde program hatasız çalışmış, herhangi bir kilitlenme durumu ortaya çıkmamıştır.



Şekil 5.5 Yoğun bölgede hücre sayısı değişiminin hesaplama süresine etkisi



Şekil 5.6 Çok yoğun bölgede hücre sayısı değişiminin hesaplama süresine etkisi

Yukarıdaki Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 da verilen grafiklerin yardımıyla, çok yoğun bölgede hücre sayısı arttıkça hesaplama süresindeki artış eğiliminin, algoritmaların hesaplama karmaşıklığı ile kuramsal olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Şöyle ki çok yoğun bölgede, hücre sayısının artması ve frekans ihtiyacının yüksek olması hücrelerin birbirleriyle olan etkileşimlerini de arttıracaktır. Bunun sonucu olarak hücre sayısındaki artışın, program hesaplama süresinde neredeyse üstel bir artışa neden olduğu Şekil 5.6' da gözlemlenmektedir. Buna karşın, az yoğun ve yoğun

bölgelerde ise hücrelerin birbirlerinden etkilenmesinin ve frekans ihtiyacının az olmasından dolayı hesaplama süresinin artış hızı azalır, Şekil 5.5 de görüldüğü gibi eğilim değiştirmiştir. Sonuç olarak, frekans planlama probleminin çözümünün en zor olduğu, çok yoğun bölgedeki istatistiksel verilerin baz alınması daha doğru gözükmetedir.

5.3.2. Programın diğer frekans planlama programları ile karşılaştırılması

GSM frekans planlama programı olarak gerek ticari gerek bilimsel anlamda çok az çalışma bulunmaktadır. Ticari satılan programlar ise gerek fiyat olarak çok yüksek bedel talep etmekte, gerek çalışma algoritma ve prensiplerini paylaşmadıkları için iyileştirme de yapılamamaktadır.

Karşılaştırma için A. Gamst tarafından yayınlanmış grafiksel yöntem teorisi ile radyo şebeke planlama makalesindeki çalışma [32] ile ticari bir program olan ve Turkcell bünyesinde kullanılmakta olan ILSA frekans planlayıcısı [31] karşılaştırılmıştır.

Gamst tarafından kullanılan yöntemde her hücreye eşit sayıda frekans atanarak renk ayırma algoritması kullanılmıştır. Uygulama sonucu Budapeşte’de denenmiştir. Uygulama için hücrelerin el değiştirme sayıları ve uzaklıklarına göre belli hücreleri gruplandırmak suretiyle frekans ataması yapmıştır. Grupların seçimi ise el değiştirme sayılarının çokluğuna göre yapılmıştır.

ILSA frekans planlayıcı ise hücrelerin trafik, uzaklık ve el değiştirme bilgileri yanında ilave olarak harita ortamında coğrafik ağ bilgisi yüklü olarak sinyal zayıflaması tahmini yaparak hücrelerin birbirini etkilemesi üzerine çalışmaktadır. Programın çalışma algoritması bilinmemektedir. Bununla beraber bu planlayıcının bir önce belirtilen frekans planlayıcıya oranla, özellikle sinyal zayıflama tahmini yaparak hesaplama konusunda üstün özellikleri mevcuttur.

Karşılaştırma için her üç tekniğin kirlilik oranları karşılaştırılmıştır. Bununla beraber karşılaştırmada hız, doğruluk ve kilitleme durumlarına bakılmıştır.

Karşılaştırma sonucu Gamst metodu en hızlı çalışan sistem olmuştur. Buna karşın kirlilik seviyesi en kötü çıkan programdır. ILSA ise kirliliği en düşük hesaplayabilmiş buna karşı bu işlemi 48 saatte tamamlarken sistem 2 defa kilitlenmiş ve yeniden başlatılmak zorunda kalmıştır. Tez çalışmamda kullandığım Adaptif-3 metodunda ise kirlilik hem ILSA planlayıcısına çok yakın bir kirlilik çıkartmış hem de Gamst metodunda ulaşılan süre civarında herhangi bir sistemsel kilitlenme yaşamadan varılmıştır.

Frekans Planlama Metodu	Kirlilik	Süre (saat)	Kilitlenme
Gamst	12800	12	Yok
ILSA	4300	48	Var
Kavlak	5600	17	Yok

Şekil 5.5 Frekans Planlama Metotlarının Karşılaştırılması

ILSA programının gücü ise daha fazla hücrenin olduğu durumlarda dahi verimli çalışmakta oluşudur. ILSA programının 3.000.000 \$ olduğu düşünüldüğünde en az maliyetle sağlanan en verimli uygulama tez çalışmamda elde edildiği görülmektedir. Küçük ölçekli birçok bölgede ILSA ile aynı etkiyi yaratacak seviyededir.

6. FREKANS ATAMA SONUCUNUN DENEYSEL UYGULAMASI

6.1. Deney Alanı

Yapılan frekans ataması sonucunu gözlemleyebilmek için canlı şebekede test edilmiştir. Frekans planı denemesi için Yozgat il merkezi seçilmiştir. Bölgenin coğrafik şartları frekans planının sadece sınırlı bir bölgede test edilmesine olanak sağlamaktadır. İl merkezi ile merkez çevresindeki hücrelerin birbirlerine etkisi yoktur. Ayrıca il merkezinin seçilmesi farklı yoğunluktaki hücrelerin (çok yoğun bölge, yoğun bölge, az yoğun bölge hücreleri) frekans kirliliğinde etken olarak kullanılmasını sağlamıştır.

İl merkezinde toplam 25 hücre 135 TRX bulunmaktadır. Hücre başına düşen TRX sayısı 5.4 iken en yüksek TRX'e sahip hücre 12, en düşük TRX'e sahip hücre 2 TRX'dir.

6.2. Deney Uygulaması

Yapılan frekans bulma programı yaklaşık 2 gün işlem yapmış ve sonucunda belirlenen frekanslar 15 Aralık 2008 gecesi 25 hücreye aynı anda uygulanmıştır. 16 Aralık 2008 gecesi bölgeye gönderilen ekip ile ana yollar üzerinde test alınmıştır. Test 80 km uzunluktaki test güzergâhında alınmıştır. Ayrıca 1 hafta beklenerek temel performans göstergelerindeki değişimler raporlanmıştır.



Şekil 6.1 Test güzergahı

6.2.1. Deney sonrası saha kontrolleri

16 Aralık günü yapılan araçlı test ile Yozgat il merkezinde bulunan tüm ana yol ve güzergâhlar TEMs ekipmanı kullanılarak test edilmiştir. TEMs ekipmanı MS'in normalde de yaptığı ve BTS üzerinden BSC'ye aktardığı tüm sinyalleşmeleri, kalite ve sinyal bilgilerini gösterme özelliğine sahip özel bir programdır. Bu sayede bölgedeki kalite bilgisini direkt görme, hatalı veya yanlış bir frekans atama işlemini yakalayıp düzeltme şansı sağlamıştır.

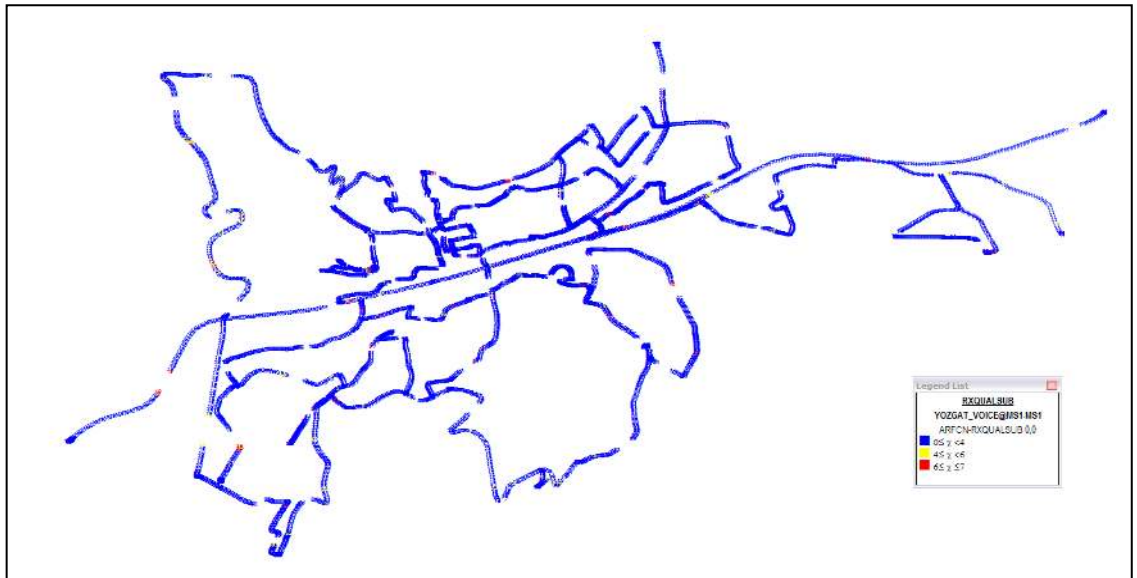
Test sonucunda kalite ve sinyal seviyesi sonuçları çok iyi değerlerde çıkmıştır. Kalite değeri 7 üzerinden 0.16 ile mükemmel ses kalitesindedir. Drop yani konuşma kesilmesi ile karşılaşılmamıştır. Ayrıca Handover başarı oranının da hatasız olması bize hem frekansların hem de komşulukların çok iyi tanımlandığını göstermektedir.

Kalitenin diğerk bir ölçütü olan Mean Opinion Score (MOS) ise kulaktan kulağa ses kalitesini ölçmek için kullanılan bir ölçüm sistemidir. 5 en iyi ve pratikte ulaşılamaz bir değer kabul edilmektedir. Bu değer şebekenin tüm kalitesini gösterdiği için önem taşımaktadır ve yapılan frekans atama ile bu değerinde 3.92 ile çok yüksek ve kaliteli çıktığı saplanmıştır.

Outdoor Voice Ölçüm Kriterleri		OPERATOR 1
SinyalSeviye Ortalaması Idle (dBm)		-51,50
RxLevel $\leq$ -85dBm Idle Sinyal Seviyesi (%)		0,18
Sinyal Kalitesi Ortalaması		0,16
RxQual $\geq$ 6 Sinyal Kalite (%)		0,55
Drop Sayısı		0
Blok Sayısı		0
Çağrı Kurma Başarı Oranı (%)		100,00
Handover Başarı Oranı (%)		100,00
MOS (Average)		3,92
MOS (UL)		3,81
MOS (DL)		4,03
Speech Codec Kullanım Oranları (%)	Enhance Full Rate	0,00
	AMR Full Rate	100,00
	AMR Half Rate	0,00

Şekil 6.2 Ölçüm Sonuçları

Kalite haritası da incelendiği zaman kalite bozulmasının olmadığı da ayrıntılı biçimde gözükmemektedir. Mavi en iyi kaliteyi temsil etmektedir.



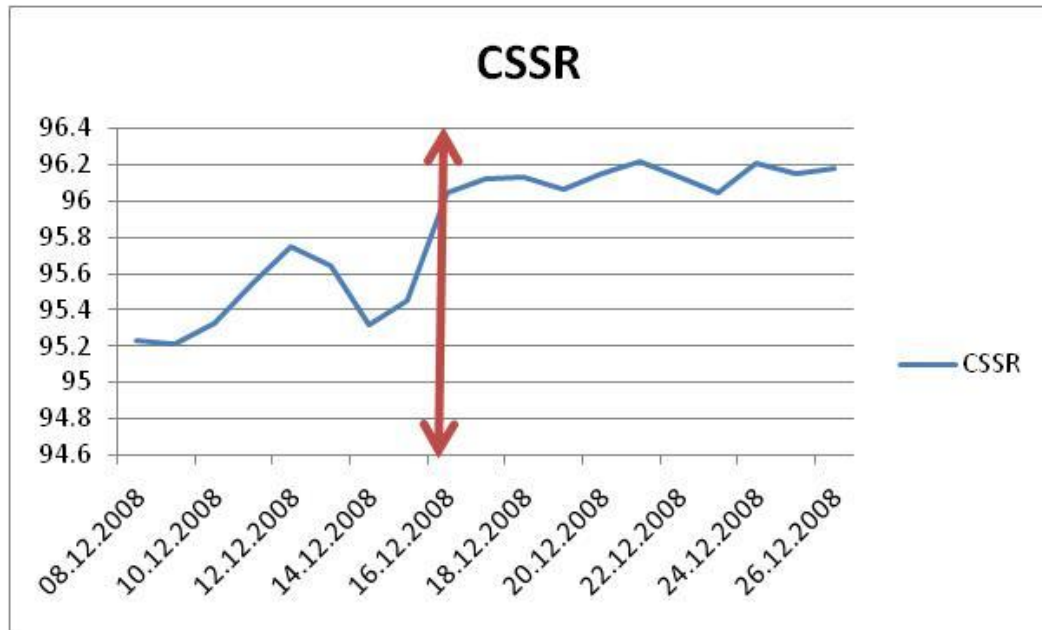
Şekil 6.3 Kalite dağılımı

6.2.2. Anahtar performans gösterge kontrolleri

Frekans atamasının başarısını görmek için şebekenin temel göstergeleri test yapıldığı çalışmanın bir hafta öncesi ile bir hafta sonrasının karşılaştırılması yapılmıştır.

İlk olarak çağrı kurma başarı oranı (CSSR) değeri karşılaştırılmıştır. Frekans planlama öncesi ortalama %95.43 iken %96.13 seviyesine çıkmıştır. Eskiden yüz kişiden 95.43'ü çağrı kurabiliyorken bu değer 96.13 seviyesine çıkarak daha fazla kullanıcının şebekeye erişmesi sağlanmıştır.

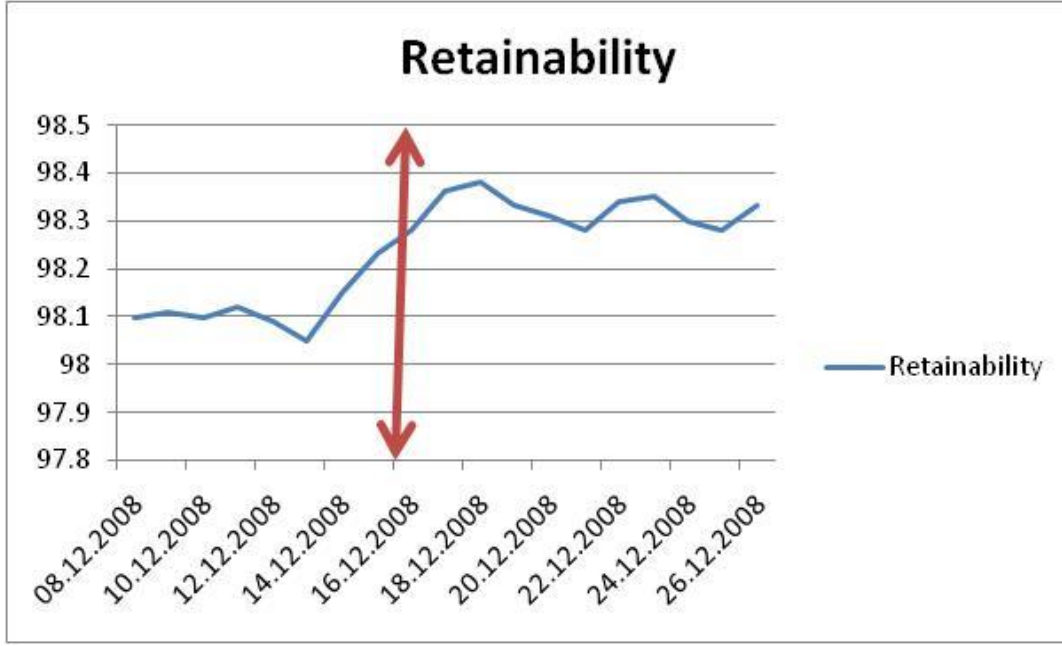
Yozgat il merkezinin trafiği ortalama 5000 Erlang'dır ve günlük toplam 250,000 çağrı denemesi yapılmaktadır. CSSR değerindeki değişim çok yüksektir. Şöyle ki frekans planlama öncesinde 238,575 kişi çağrı kurmada başarı gösterirken frekans planlama sonrası bu sayı 240,325'e çıkmıştır. Böylelikle, ek olarak yaklaşık 2,000 çağrı kurma denemesi şebekeye başarı ile bağlanmıştır. Hem abone memnuniyeti sağlanmış hem de operatör gelirlerinde artış meydana gelmiştir.



Şekil 6.4 Çağrı Başarı Kurma Değişimi

İkinci olarak çağrı sürdürülebilirliği (Retainability) değeri karşılaştırılmıştır. Frekans planlama öncesi %98.11 olan bu değer test sonrası %98.33 değerine çıkmıştır. Bu sayede eskiden konuşması kesilen abone sayısında iyileşme sağlanmıştır.

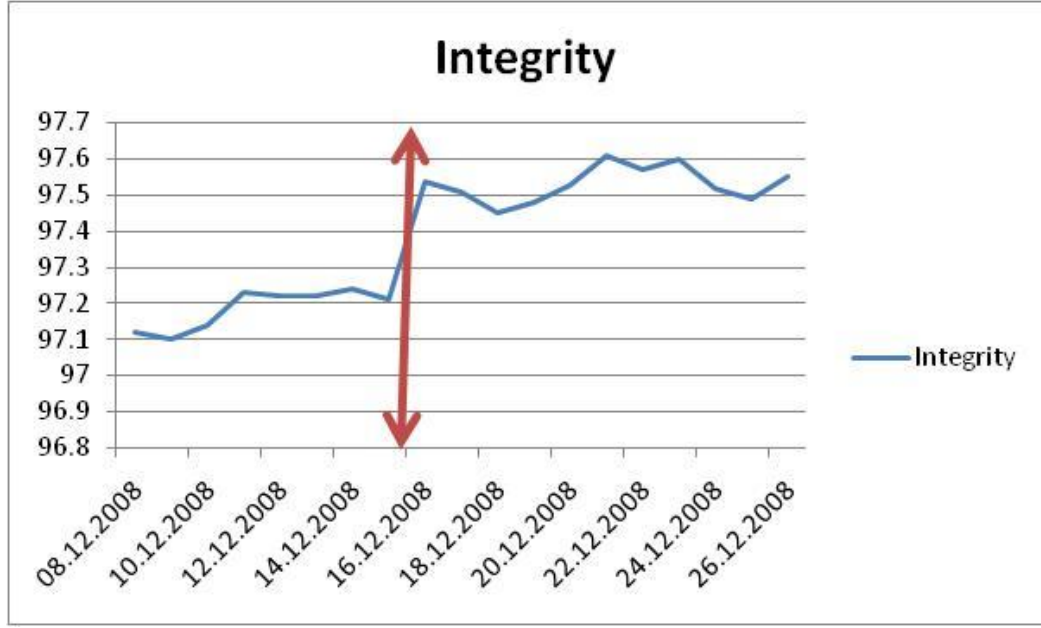
İl merkezinin toplam konuşma kuran abone sayısı yaklaşık 240,000 seviyesindedir. Bu abonelerin konuşma kesilmeden kendi istekleri ile konuşmayı bitiren sayısı eskiden 235,464 kişi iken bu sayı frekans planlama sonucu 235,992 kişiye çıkmıştır. Eskiden abone isteği dışında konuşma bir anda kesilirken, 500 konuşma fazlasıyla, tüm konuşmalar artık sorunsuz şekilde sonlandırılmaya başlamıştır. Konuşma kesilmediği için konuşma süresi uzamış ve operatöre gelir olarak yansımıştır.



Şekil 6.5 Çağrı Sürdürülebilirliği Değişimi

Son olarak çağrı konuşma kalitesi (Integrity) incelenmiştir. Kullanıcının hissettiği kötü kalite değerinde iyileşme sağlanmış, eskiden %97.18 olan değer %98.53 değerine çıkmıştır.

Kısaca 240,000 görüşmenin eskiden 233,232 tanesi konuşma kalitesi bakımından aboneyi rahatsız etmeyecek kalitede iken frekans planlama sonucunda bu sayı 236,472'ye çıkmıştır. Yaklaşık 3,000 konuşma artık aboneyi rahatsız etmeyen, kaliteli konuşma seviyesine yükselmiştir.



Şekil 6.5 Çağrı Kalite Değişimi

7. SONUÇ

Gezgin iletişimin dünyada en çok aboneye sahip, en geniş coğrafyaya servis veren sistemi GSM'dir. Kullanıcının mobil olması ise bu sistemin birçok dış ve iç etkene maruz kalmasına nedendir. GSM bu büyük problemlerin üstesinden gelebilecek çeşitli önleme mekanizmalarına sahiptir. Bununla beraber bu mekanizmaların doğru işleyebilmesi için son derece planlı ve organize edilmesi gerekmektedir. Özellikle kullanıcı sayısının arttığı ortamlarda ihtiyaç duyulan frekans kaynağı son derece kısıtlıdır.

Frekansların her hücrede farklı sayıda olması, her hücrenin bir diğerini etkileme oranı çok büyük bir çeşitlilik içinde bulunması frekansların kolay bir şekilde hücrelere paylaştırılmasını imkânsız kılmaktadır. Sistemin en verimli çalışması için öncelikle kurulu istasyon ve hücrelerin doğru şekilde dizayn edilmeleri daha sonrasında ise tüm parametrik bilgilerin optimizasyonu gerekmektedir.

Frekans atama başlangıç noktası da aynı algoritma gibi önem taşımaktadır. Başlangıç noktasının değişmesi aynı domino taşlarının birbirini etkilemesi gibi frekansların dağılımını etkileyecektir. Frekans bulması en zor hücreye öncelikli frekans atayarak en zor en temizde tutmaya çalışmak gerekmektedir.

Aynı şekilde sonraki atanan frekanslar hem daha öncekileri kirletecek hem de daha önceden kullanılan frekanslar yüzünden artık temiz frekans bulmak zorlaşacaktır. Önerilen algoritmada her atama sonrası geri dönülerek frekansların tekrar uygun olduğunun kontrol edilmesi sağlanmıştır. Bu işlemi yaparken temiz frekansa sahip hücrelerin bazı frekanslarından ödün verilerek çok kirli frekanslara sahip hücrelerin frekanslarının temizlenmesi ile ortalama kalitenin tüm kullanıcılara yansıtılması da önem taşımaktadır.

Kullanılan algoritma ile her ne kadar hızlı çalışan bir yapıya sahiptir olsa, her seferinde ilgili frekansları atayıp öncekileri kontrol edip tekrar uygun olanları belirlemek, eşiğin her defasında ayarlayarak işlem yapmak yüksek işlem gücü ve çok kapasiteli bir bilgisayar sistemi gerektirmektedir. Burada en önemli katkı kirlilik eşiği, uyarlamalı adım sayısı ve kirli hücrenin ICDM verisine göre kirleten hücrelerin sayısını seçmek olacaktır. Eşiğin ve adım sayısının düşük olması

döngüde denetimin artmasına neden olmaktadır. Keza ICDM matrisindeki hücre sayısının artırılması ile daha çok hücre işleme tabii tutulduğundan frekans planlama sonucunu elde etmek zaman alacaktır. Buna karşın eşiği ve adım sayısını yüksek tutmak, hesaplama hızını artırırken, optimum frekans planı yakın-optimum olabilir. Ayrıca ICDM matrisinde etkileyen hücre sayısını düşük tutmak hesaplamalarda hız kazandıracak iken, hücrenin kirli frekansının diğer etkileyenlere dağılımı daha dramatik kirliliklere yol açabilir. Eşiği kaldırmak ise sistemin belli bir kirlilikten sonra döngüye girip kilitlenmesine neden olacaktır. Bunun için eşik değeri verilmiş ve kirlilik bilgisi sisteme eklenmiştir. Kirlilik çok yüksek çıktığı ve sistem bunu düzeltecek bir yol bulamadığı takdirde kirli hücreyi belirterek hücrede donanımsal değişikliklerin yapılması gerekliliğini ortaya çıkaracaktır. Çünkü hücre çevresinden çok fazla etkilenmekte ve tüm frekanslar kirlilik yaratmaktadır. Bu durumda hücrenin antenlerin yüksekliği, eğimi, tipi ile kabinin çıkış gücünde değişikliklere gidilmesi gerekmektedir. Önerilen frekans planlama algoritması bu sayede sadece frekansları ayarlayarak değil aynı zamanda ilgili planlama mühendisine donanımsal değişiklikler ile de yol göstermektedir.

Frekans atama sırasında hücre çevre bilgisi de önem taşımaktadır. Çok yoğun veya özel amaçlı hücrenin frekans atamasının ilk yapılması zorunlulukları bulunmaktadır. Bunun en iyi örneği genellikle küçük illerde bulunan ve şehrin tamamına servis verebilecek mevkide bulunan şemsiye hücrelerdir. Bu hücreler tüm şehri etkileyebileceklerinden ilk olarak temiz frekansların bu hücrelere atanması gerekliliği çalışma sonucu görülmüştür.

Tez çalışması için Yozgat il merkezinde yapılan frekans planlama denemesi sonucu atanan frekansların temizliği mümkün olan tüm yöntemler ile kontrol edilmiştir. İlk olarak şehirde araç ile yapılan testte kalite, çağrı başarı kurma, el verme, konuşma kesilme değerlerinde çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ardından takip edilen istatistikler ile gerek çağrı kurma başarı oranında, gerek konuşma kalitesinde gerekse de konuşma sürdürülebilirliğinde eskiye göre iyileşmelerin yaşandığı saptanmıştır. İl merkezinde yapılacak çalışma için 1 hafta öncesinden ICDM, FAS ve PIT ölçümleri toplanmaya başlanmıştır. Sonuçlar gerekli bilgilerle algoritma içinde koşturulduğu zaman yaklaşık 2 günden daha az bir sürede

algoritmanın tamamlanması beklenmiştir. 25 hücre gibi ortalama küçük bir il için bile bu denli süre harcaması daha büyük illerde sıkıntı olarak gözükmektedir. Algoritmaya girecek hücre sayısının ve bununla beraber ICDM matrisinin büyümesi veri tabanı sorunları ortaya çıkaracaktır. Daha fazla hücreli çalışmalar için verimli bir veri tabanı, daha yüksek işlem gücüne sahip bir bilgisayar ile kaliteden ödün verebilecek kirlilik eşiği ve adım sayısı kullanılmalıdır.

Kirlilik hesabı için hücreyi etkileyen diğer hücrelerin etki oranının hücrenin kendi trafiği ile çarpım yoluyla bulunmuştur. Bu sayede kirli frekansın hücrenin trafiğinin ne kadarını bozacağı hesaplanmaya çalışılmıştır. Burada hem yan kanal hem ana kanal girişimi göz önünde tutulmuştur. Her iki kanal girişiminin bulunması algoritmayı yavaşlatan fakat doğruluğu olabildiğince arttıran bir uygulamadır. Bununla beraber özellikle hücre ve frekans sayısının çok olduğu daha büyük il merkezlerinde sadece ana kanal girişimi kullanılarak yan kanallardan ödün verilebilir. Bunun nedeni zaten belli bir süre sonra temiz bir frekansın kalmayıp mecbur olarak yan hatta aynı frekansların kullanılmasındandır. Nitekim bu durum bazı çok yoğun alanlarda kullanılmaktadır.

Frekans Planlama Programını yavaşlatan en büyük neden her hücre için tüm frekans bandının kirlilik analizinin yapılmasıdır. Her seferinde bir hücre için uygun frekanslar seçileceği zaman 50 frekansın tamamı için frekans kirlilik değerleri hesaplanmaktadır. İlk başta çok hızlı çalışan bu döngü atanmış hücrelerin sayısının artması ve her seferinde frekans atanacak hücrenin kirlilik bilgilerinin atanmış hücrelere göre belirlenmesinden yavaşlamalar meydana gelmektedir. İyileştirme 50 frekansın 2 veya daha fazla gruba bölünerek sağlanabilir. Her gruptan, tüm hücrenin gerekli frekans ihtiyacı sayısının grup sayısına bölünerek bulunan değeri kadar frekans bulması istenir. Grup sayısı kadar farklı bilgisayarda her biri ayrı bir grup için frekans planlayacak şekilde ayarlanabilir. Paralel yürüyen bu işlem sayesinde işlem hızı oldukça hızlanacaktır. Burada karşılaşılabilecek problem ise frekansların bölünmesi nedeniyle ortalama kirliliğin artması ve ideal frekans planından uzaklaşmak olacaktır.

Bu çalışmanın sayesinde dört önemli kazanım elde edilmiştir. Birinci olarak gerçek ICDM verileriyle beraber trafik, TRX sayısı ve hücre özel durum ölçütlerini kullanarak, çok amaca hizmet eden optimizasyon yapılmasıdır. İkinci kazanım ise

uyarlamalı olarak kirliliği optimum dağıtana kadar, her adımda yeniden maliyet fonksiyonun hesaplanması olmuştur. Diğer bir kazanım ise uyarlamalı eşik ile programın çalışma hız ve kilitleme denetiminde hâkimiyet sağlanmasıdır. Son olarak kirlilik sonucuna göre donanımsal değişiklik önerisi, arıza tespit önerisi getirebilmesidir.

Sonuç olarak önerilen frekans atama algoritması kullandığı yöntem ile son derece verimli sonuçlar elde etmiş, sadece temiz frekans planını bulmak değil varsa donanımsal problemlili hücreleri de belirterek gerekli çalışmanın sahada yapılmasını da sağlamıştır.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Ericsson, GSM System Survey, Ericsson Radio Systems AB., Sweden, 1999
- [2] Ericsson, CCITT SS No.7 in GSM, Ericsson Radio Systems AB., Sweden, 1995
- [3] Michel Mouley, Marie-Bernadette Pautet, The GSM System for Mobile Communication, Cell & Sys. Correspondence, France, 1992
- [4] John Gardiner, Personnel Communication Systems and Technologies, Artech House Publishers, England, 1999
- [5] John Walker, Advances in Mobile Information Systems, Artech House Publishers, England, 1999
- [6] Asha Mohrotra, GSM System Engineering, Artech House Publishers, England, 1997
- [7] Uyluss Blocks, Mobile and Wireless Networks, Prentice Hall, 1996
- [8] GREWAL, Mohinder S., ANDREWS, Angus P., Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB, 2nd Edition, John Wiley & Sons 2001
- [9] Maybeck, P.S., Stochastic Models, estimation and control, Academic Pres, 1979
- [10] Welling, M., The Kalman Filtler, California Institute of Technology 136-93 <http://www.ics.uci.edu/~welling>.
- [11] Ericsson, GSM Cell Planning Principles, Ericsson Radio Systems AB, Sweden 2004
- [12] Ericsson, GSM Radio Network Tunning, Ericsson Radio Systems AB, Sweden 2004
- [13] Ericsson, GSM Radio Network Features, Ericsson Radio Systems AB, Sweden 2004
- [14] Ericsson, GSM RBS 2206 Maintenance, Ericsson Radio Systems AB, Sweden 2000
- [15] Motorola, CPI for Engineers, Motorola, USA 2000
- [16] Vikipedi, Wikipedia.org
- [17] Box, F. A Heuristic Technique for Assigning Frequencies to Mobile Radio Nets IEEE Trans. Veh. Techn., Vol. VT-27(1978), 57-64

- [18] Christofiden. S, Graph Theory. An Algorithmic Approach London: Academic Press 1975
- [19] GAMSTA, .A Resource Allocation Technique for FDMA Systems Alta Frequenza, Vol. 57(1988), 89-96
- [20] GAMSTA, A Trafic Data Base for Germany Submitted to MRC, Nizza 1991
- [21] Evolutionary Algorithms for Real-World Instances of the Automatic Frequency Planning Problem in GSM Networks EVOCOP 2007, April 11-13, 2007
- [22] L. Garcia, Perez, Alegre, Dynamic Threshold Selection for Image Segmentation of Natural Structures Based Upon a Performance Criterion, 2008
- [23] M. Sezgin, B. Sangun, Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation, 2004
- [24] Asset International, www.aircominternational.com/products/asset
- [25] A. Gamst Application of Graph Theoretical Methods to GSM Radio Network Planning,
- [26] C. Yu, S. Subramanian, Advanced Frequency Planning Techniques for TDMA and GSM Networks, 1998
- [27] Stefan Engstrom, Thomas Johansson, Fredric Kronestedt, Magnus Larsson, Stefan Lidbrink, H&an Olofsson, Multiple Reuse Patterns for Frequency Planning in GSM Networks, 1998
- [28] F. Kronestedt, M. Frodigh, Frequency Planning Strategies for Frequency Hopping System, 1997
- [29] M. Atamanesh, F. Farzaneh, Frequency Planning of GSM Cellular Communication Network in Urban Areas including traffic distribution, a Practical Implementation, 2008
- [30] N. Jalden, K. Wilson, Autonomous Frequency Planning for GSM Networks
- [31] Y. Tirnner, M. Bergenlid, Estimating the Inter Cell Dependency Matrix in a GSM network
- [32] M.Hata, Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services, 1980
- [33] M. Olsson, A. Broström, S. Craig, H. Arslan, Single Antenna Interference Rejection in GSM/EDGE Networks

