T. C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HETEROJEN KABLOSUZ AĞLARDA DİKEY ELDEĞİŞTİRME YOLU İLE AĞ SEÇİMİ

Aytül BOZKURT
Doktora Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdem UÇAR
II. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Rafet AKDENİZ
2011
EDİRNE

T. C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HETEROJEN AĞLARDA DİKEY ELDEĞİŞTİRME YOLU İLE AĞ SEÇİMİ

Aytül BOZKURT

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez / /2011 tarihinde aşağıdaki jürü tarafından kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Erdem UÇAR

Yrd. Doç. Dr. Rafet AKDENİZ
(II. Danışman)

Doç. Dr. Yılmaz KILIÇARSLAN

Doç. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK

Doktora Tezi
Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Gelecek nesil kablosuz iletişim, farklı erişim teknolojilerini kullanan ağların heterojen yapıda devre-anahtarlamalı ses, paket-anahtarlamalı veri, video gibi farklı servis ihtiyaçlarına cevap verebileceği yöne doğru gelişmektedir. Hareketliliğin artması nedeniyle her an her yerde servislere kesintisiz iletişim desteği verilebilmesi kısıtlı kaynaklar sözkonusu olduğunda oldukça zor bir problemdir. Ayrıca sevislerin farklı QoS (Quality of Service) gereklilikleri sistemde bu servis sınıflarına hizmet verilirken öncelik konumlarını da belirler. Arama izin şemaları önceden belirlenen bloklanma olasılığı, düşürülme olasılığı, ortalama cevap süresi gibi QoS ölçütlerinin belirlenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için sisteme kabul edilebilecek kulanıcı sayısını sınırlama yolu ile kaynakları etkin bir şekilde kullanmayı amaçlar.

Hücresel ağlar ve WLAN kapsama alanları, kullanıcılarının hareketlilik karakteristikleri, servis kapasiteleri ve QoS başarımları bakımından birbirleri ile tamamlamalı bir yapı teşkil ederler. Hücresel ağ ile WLAN ağın heterojen yapıda bütünleşmiş sistem olarak çalışması kısıtlı sistem kaynaklarının etkin kullanımının bir başka yoludur. Öncelikle belirlenen arama şeması stratejisine göre gelen aramalar ya hücresel ya da WLAN'e yönlendirilir. Sonrasında ise iki ağ arasında dikey eldeğiştirmeler yolu ile yük paylaşılarak, ağ kaynakları bütünleşmiş yapıda ortak olarak kullanılır.

Bu tezde hem hücresel hem de heterojen ağlarda arama izin şemaları yolu ile kaynak paylaşımı problemi üzerinde çalışılmış, farklı arama izin ve kontrol prensipleriyle üç kaynak paylaşım ve yönetim şeması önerilmiş ve Markov Zincirinden yararlanarak analitik modelleri geliştirmek suretiyle analiz edilmiştir. İlk olarak, farklı servis gereklilikleri ile hücresel ağlarda kaynak paylaşımı çalışılmış, servis yüklerindeki değişim ile sistem performans ölçüt değerlerindeki değişimler gözlenmiştir. Önerilen

kaynak paylaşım şeması ikinci çalışmada geliştirilerek, kanal sayılarının en uygun değeri için algoritmik çözüm sunulmuş, QoS değerlerinin hedeflenen değer sınırları içinde tutulduğu gösterilmiştir. Üçüncü önerilen kaynak paylaşım şemasında ise hücresel/WLAN birlikte çalışması incelenmiş, yalnızca hücresel ağın bulunduğu sistem ile karşılaştırılarak, dikey eldeğiştirme yolu ile istenen QoS değerlerinin daha fazla iyileştirildiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak paylaşımı, kaynak yönetimi, arama izin şeması, heterojen ağlar, QoS.

Doctorate Thesis
Trakya University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

ABSTRACT

Next-generation wireless communication evolves into a direction that allows networks using different radio access Technologies to support different service demands such as circuit-switched voice, packet-switched data and video stream in heterogeneous architecture. Seamless transmission support for services anywhere and anytime due to increase in mobility is obviously challenging problem when the the total resources are scarce and limited. Besides, different QoS requirements of these services determine their priorities when these service classes are served by the system. Call admission schemes aim to maintain the QoS measures predefined such as blocking probability, dropping probability, response time in their upper bound values by restricting the number of users which are admitted to the system.

Cellular and WLAN networks has a complementer structure in terms of mobility characteristic of their users, service capacities and the QoS achivement. Integrated operation of cellular and WLAN networks in heteregeneous enviroment is the alternative way of utilizing system resources. Firstly, incoming calls have been routed to cellular or WLAN network according to an admission scheme strategy. Later, resources of integrated network are used jointly by sharing the traffic load between celllular and WLAN via vertical handoffs.

In this thesis, the resource sharing problem by call admission schemes has been studied and three different resource sharing and management schemes with different call admission policies are proposed and analyzed by developing their Markov Chain models. Firstly, it has been worked on resource sharing in cellular wireless networks with diffrent service requirements to gain insights and changes have been observed for system performance measure values under the variable traffic load. Then, the proposed

resource management scheme is extended by presenting the algorithmic solution for optimal values of the channel numbers and showing that the QoS values stay in the targeted values range. Lastly, the study is extended to cellular/WLAN integrated network enviroment and compared with conventional system that comprises only a cellular network. It has been showed that the required QoS values have been further improved compared to conventional network by the vertical handoff implementation.

Key Words: Resource sharing, resource allocation, call admission control, heteregeneous networks, QoS.

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması için bana yol gösteren, yardımlarını ve desteklerini benden esirgemeyen değerli Hocalarım Yrd. Doç. Dr. Erdem UÇAR'a ve Yrd. Doç. Rafet AKDENİZ'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Annem Emine BOZKURT ve babam Bekir BOZKURT'a çalışmam sırasındaki sabır ve derin anlayışlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xii
KISALTMALAR LİSTESİ xiii
1. GİRİŞ 1
2. KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ 8
2.1 Mobil Hücresel Haberleşme 8
2.2 Hücresel Sistemlerin Gelişimi 10
2.2.1 Birinci kuşak (1G) hücresel sistem ve standartları 10
2.2.2 İkinci kuşak (2G) dijital hücresel sistemler 11
2.2.3 2G hücresel sistemler üzerinden veri 12
2.2.3.1 HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data) 13
2.2.3.2.GPRS (General Packet Radio Service) 13
2.2.3.3 EDGE (Enhanced Veri Rates for GSM Evolution) 14
2.2.4 Üçüncü Kuşak (3G) Mobil Sistemler 14
2.3. Sabit Kablosuz Erişim 17
2.3.1 Giriş 17
2.3.2 Erişim teknolojileri 18
2.3.3 Kablo erişim için alternatifler 18
2.3.4 Geniş bant sabit kablosuz erişim sistemleri 19
2.3.4.1 Geniş bant sistemi olarak WLAN (Wireless Local Area Network) . 20
2.3.4.2 IEEE 802.11 20
2.3.4.3 IEEE 802.16 kablosuz MAN 21
2.4. Dördüncü Kuşak (4G) Sistemler 21

2.5 Kablosuz Ağ Sistemlerinde QoS 26
2.5.1 Paket seviyesi (Packet level) 26
2.5.2 Arama seviyesi (Call level) 27
2.5.3 Sınıf seviyesi (Class level): 27
2.6 4G'de QoS 28
2.7 Arama Seviyesi QoS Çalışmaları 30
2.7.1 Arama İzin Şeması 31
2.7.2 Kanal tahsis şemaları 38
2.7.3 Kanal rezervasyon şemaları 41
2.8 Sınıf seviyeli çalışmaları 41
2.9 Paket seviyeli QoS çalışmalar 42
3. ARAMA İZİN ŞEMALARINDA MARKOV ZİNCİRİ MODELİ KULLANIMI ... 43
3.1 Giriş 43
3.2 Tek boyutlu Markov Zinciri kullanımı 43
3.2.1 Eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği Markov Zinciri 45
3.2.2 Eldeğiştirme aramalarına öncelik verildiği durumda Markov Zinciri..... 47
3.3 İki-boyutlu Markov Zinciri 49
4. ENTEGRE SES/VERİ HÜCRESEL KABLOSUZ AĞLARDA SERVİS KALİTESİ VE KANAL TAHSİSİ 51
4.1 Sistem Modeli..... 51
4.2 Önerilen Kontrol Şeması 78
4.3 Kararlı Durum Eşitliklerinin Çözümü 53
4.4 Performans Ölçütleri 63
4.4.1 Ses aramaları bloklanma olasılığı 63
4.4.2 Ses aramalarının düşürülme olasılığı 64
4.4.3 Veri aramalarının düşürülme olasılığı 64
4.4.4 Veri aramaları ortalama servis oranı 64
4.4.5 Kanal kapasitesi kullanım verimliliği 65
4.5 Sayısal Sonuçlar 65
4.6 Sonuç 67
5. HÜCRESEL MOBİL AĞLARDA SES/VERİ SERVİSLERİ İÇİN ARAMA İZİN KONTROL ŞEMASI 70

5.1 Sistem Modeli 70
5.2 Önerilen kontrol şeması 70
5.3 Optimal CAC parametreler 71
5.4 Kararlı durum eşitliklerinin çözümü için analitik model 72
5.5 Sayısal sonuçlar 75
5.6 Sonuç 79
6. SES/VERİ SERVİSLERİ İÇİN HÜCRESEL/WLAN ENTEGRE AĞLARDA KAYNAK TAHSİSİ 81
6.1 Trafik model 81
6.2 Önerilen CAC şeması 82
6.3 Hücresel ağ için analitik model 84
6.4 WLAN ağ kısmı için analitik model 87
6.5 Sayısal sonuçlar 89
6.6 Sonuç 95
7. SONUÇLAR 97
KAYNAKLAR 100
TEZ DÖNEMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR 111

ŞEKİL LİSTESİ

2.1 Basit Kablosuz Erişim Sistem Modeli

2.2 AMPS Frekans Kullanımı

2.3 Kablosuz Sistem Kuşakları

2.4 Farklı Kablosuz Erişim Alternatifleri (A) Birleşim (B) Kapasiteler

2.5 Hücresel Ağ / WLAN Basit Şeması

2.6 Hücresel ağ ve WLAN IP-tabanlı sistem mimarisi

2.7 OSI Referans Modeli

2.8 Kanal İşgal Durum Diyagramı

3.1 Eldeğiştirme Aramalarının Önceliğinin Olmadığı Durumda Geçiş Diyagramı

3.2 Öncelikli Şema Kullanımı Durumunda Geçiş Diyagramı

3.3 CP İçin Durum Geçiş Diyagramı (State-Transition Diagram)

4.1 CP İçin Durum Geçiş Diyagramı (State-Tansition Diagram)

4.2 CP İçin Ayrıntılı Durum Geçiş Diyagramı (State-Tansition Diagram)

4.3 Bazı Durumlar İçin Denge Eşitlikleri

4.4 Ses Aramalarının Bloklanma Olasılığı

4.5 Ses Aramalarının Düşürülme Olasılığı

4.6 Veri Aramalarının Düşürülme Olasılığı

4.7 Veri Aramalarının Averaj Servis Oranı

4.8 C Kapasitesinin Kullanım Etkinliği, η

5.1 Veri Trafik Yükü ρ_D'nin Fonksiyonu Olarak Veri Cevap Süresi T_d

5.2 Veri Trafik Yükü ρ_D'nin Fonksiyonu Olarak Servis Oranı

5.3 Ses Trafik Yükü ρ_V'nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Bloklanma Olasılığı B_{nv}

5.4 Ses Trafik Yükü ρ_V'nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Düşürülme Olasılığı B_{hv}

5.5 Kanal Kullanım Etkinliği (Γ)

5.6 Veri Aramaları Bloklanma Ve Düşürülme Olasılığı $Bn_{d,}$ Bh_d

6.1 Ses Aramaları Geliş Oranı λ_{VI} 'Nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Bloklanma Olasılığı Bn_v

6.2 Yeni Ve Eldeğiştirme Aramaları İçin Gereken Kanal Sayıları M_v, T_v

6.3 Veri Trafik Yükü ρ_D'nin Fonksiyonu Olarak Veri Cevap Süresi T_d

6.4 Ses Aramaları Geliş Oranı λ_{VI} 'Nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Bloklanma Olasılığı (Bh_v)

6.5 Veri Aramaları Bloklanma Ve Düşürülme Olasılığı Bn_d, Bh_d

6.6 Veri Trafik Yükü ρ_D'nin Fonksiyonu Olarak Servis Oranı

6.7 WLAN Ağdaki Ortalama Veri Araması Sayısı

6.8 Veri Aramalarının Bloklanma Ve Ses Aramalarının Düşürülme Olasılıkları

TABLO LİSTESİ

2.1 IMT-2000 Taşıyıcı Servis Gereklilikleri

4.1 Vektör Durum İndeksi

4.2 Geçiş Oranı T Matrisi

4.3 Sistem Parametreleri

5.1 İzin Control Parametreleri Arama Algoritması

6.1 Önerilen CAC Şeması

KISALTMALAR LİSTESİ

1G	: Birinci Nesil
3D	: Üç Boyutlu
3G	: Üçüncü Nesil
3GPP	: Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi
4G	: Dördüncü Nesil
ACI	: Bitişik Kanal Gürültüsü
AMPS	: İleri Mobil Telefon Sistemleri
ARIB	: Radyo Endüstrisi ve İş Kurumu
ATM	: Asenkron Transfer Modu
BMW	: Genişbant Sabit Kablosuz Erişim
BRAN	: Genişbant Radyo Erişim Ağı
CAC	: Arama İzin kontrol
CB	: Halk Bandı
CCI	: Yan kanal Girişimi
CDMA	: Kod Bölümlemeli Çoklu Erişim
CIR	: Taşıyıcının Girişime Oranı
CP	: Tamamen Bölüşümlü
CS	: Tamamen Paylaşımlı
CSMA/CA	: Taşıyıcı duyarlı Çoklu Erişim
DCC	: Dijital Renk Kodu
DCF	: Dağıtılmış Kordinasyon Fonksiyonu
DS-CDMA	: Direk-Sıralı-CDMA
DSL	: Dijital Abone Hattı
EDCF	: Gelişmiş DCF
EDGE	: GSM için Geliştirilmiş Veri Oranları
ESN	: Elektronik Seri Numarası
ETSI	: Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FDD	: Frekand Bölümlemeli Dupleks
FM	: Frekans Modülasyonu
FSK	: Frekans Kaydırmalı Anahtarlama

FWA	: Sabit Kablosuz Erişim
GGSN	: GPRS Ağgeçisi Destek Noktası
GMSK	: Gaussion Minimum Kaydırmalı Anahtarlama
GPRS	: Genel Paket Radyo Servisleri
GR	: GPRS Kaydedici
GSA	: Coğrafi Servis Alanı
GSM	: Mobil Komünikasyon içinKüresel Sistem
GSNS	: GPRS Destek Düğümleri
HLR	: Ev Lokasyon Kaydedicisi
HSCSD	: Yüksek Hız Devre Anahtarlamalı Veri
IETF	: İnternet Mühendislik Görev Gücü
IMT2000	: Uluslararası Mobil Telekomünikasyon-2000
IMTS	: İyileştirilmiş Mobil Telefon Sistemi
ISDN	: Entegre Servis Dijital Ağ
MAC	: Mobil Zayıflatma Kodu
MAC	: Ortam Erişim Kontrol
MAI	: Çoklu Erişim Girişimi
MC-CDMA	: Çoklu-taşıyıcı CDMA
MIN	: Mobil Kimlik Numarası
MMAC	: Çoklumedya Erişim Haberleşme
MSC	: Mobil Anahtarlama Merkezi
NMT	: Kuzey Mobil Telefon
NRT	: Gerçek-zamanlı olmayan Trafik
NTT	: Nippon Telephone&Telgraph
PANs	:Kişisel Alan Ağı
PCS	: Kişisel Haberleşme Sistemi
PDA	: Kişisel Dijital Yardımcı
PDC	: Kişisel Dijital Hücresel
PDN	: Kamu Veri Ağı
PSTN	: Kamu Anahtarlamalı Telefon Ağı
QoS	: Servis Kalitesi
RA	: Kısıtlı Erişim

RAT : Radyo Erişim Teknolojisi

RF : Radyo Frekansı

RPE-LPE : Düzenli Pals Tetikleme – Uzun Dönem Sezme

RSVP : Kaynal Rezervasyon Protokolü

RT : Gerçek-zamanlı Trafik

SAT : Süpervizör Ses Denetçisi

SCM : İstasyon Sınıf İşaretleme

SDMA **:** Uzay Bölüşümlü Çoklu Erişim

SDR : Yazılım Tanımlı Radyo

SGSN : GPRS Destek Düğüm Hizmeti

SIR : Sinyalin Girişime Oranı

TACS : Toplam Erişim Haberleşme Sistemi

TC : Transmisyon Kapsaması

TCP/IP **:** Transmisyon Kontrol/Internet Protokokü

TDD : Zaman Bölüşümlü Dupleks

TDMA : Zaman Bölüşümlü Çoklu Erişim

TD-SCDMA : Zaman Bölüşümlü-Senkron CDMA

TIA : Telekomünikasyon Endüstrisi Birliği

UMTS **:** Üniversal Mobil Telekomünikasyon Sistemi

UTRA : Üniversal Karasal Radyo

VLR **:** Ziyaretçi Lokasyon Kaydedicisi

WAN : Geniş Alan Ağı

WARC : Dünya Yönetimsel Radyo Konferansı

WCDMA : Genişband CDMA

WiFi : Kablosuz Sadakat (Doğruluk)

WiMax : Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte işlerlik

WLAN : Kablosuz Lokal Alan Ağı

WLL **:** Kablosuz Lokal Döngü

xDSL : xDijital Abone Hattı

RRE **:** Kaynak Rezervasyon Tahminedicisi

FCA **:** Sabit Kanal Tahsisi

DCA **:** Dinamik Kanal Tahsisi

HCA : Hibrit Kanal Tahsisi

GC : Koruma Kanalı

RCD : Düzenlenmiş Arama Düşürülme

MFCR : Çoklu Kesirli Kanal Rezervasyon

1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim ağları son on yıldır hem mobil teknolojide hem de çoklu-servis kullanıcılarının sayısında çok hızlı bir artışı getirmiştir. Mobil teknolojiyi mümkün kılan hücresel mobil kullanıcıları, PDA (Personal Digital Assistant) ve dizüstü bilgisayarlar gibi birçok kullanıcı terminali farklı kablosuz erişim ağları yoluyla telefon ağlarına ve internete kesintisiz iletişim sağlarlar. Bu ağlar, farklı spektrumlarda çalışır, farklı protokolleri izler ve farklı ağ yapısına sahiptirler. Her bir kablosuz ağ teknolojisi belirli avantaj ve dezavantajlara sahiptir [Lee vd., 2009].

En yaygın kullanılan erişim teknolojisi GSM (Global System for Mobile Communication) ve CDMA (Code Division Multiple Access) teknoloji tabanlı hücresel kablosuz ağ sistemidir [Choi vd., 2007], [Fruskar vd., 2005]. Hücresel ağlar, servis kalitesi (QoS) bakımından kararlı ve sinyalin kesintisiz iletildiği ağlardır. Temel eksiklikleri ya da dezavantajları ise servis masraflarının yüksek olması ve düşük veri hız oranlarıdır. 3G (Third Generation) kablosuz ağlar daha yüksek oranlarda iletim hızını mümkün kılmak için geliştirilmişlerdir. Fakat diğer kablosuz ağ teknolojileri kıyaslandığında hala kullanım ve servis ücretleri yüksektir. WiFi (Wireless Fidelity) erişim teknolojisi kurulum ve kullanım kolaylığı ve düşük fiyatlarıyla internete erişimde havaalanları ve kamunun bulunduğu alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fakat kısa erişim alanı WiFi'nin kullanımını geniş alanlarda kısıtlar ve daha büyük coğrafi bir alan içersinde, kullanıcı hareketliliğinin gerektirdiği kesintisiz ve sürekli erişim mümkün olmaz. Kısa mesafe aralığı kısıtını iyileştirmek ve daha geniş alanlarda daha yüksek nüfus yoğunluğunun olduğu yerlerde yine yüksek iletim hızı sağlamak için WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ağlar kullanılmaya

başlanmıştır. WiMax standart olarak 2.4 GHz çalışma frekansında çalışır ve noktadan-çoklu noktaya (point-to-multipoint) iletişim sağlar. WiMax teknolojisinin yüksek transmisyon gücü gerekliliği ve baz istasyonlarının sayısı daha düşük güç seviyelerinde çalışan PDA, dizüstü bilgisayar ve mobil telefonlarda kullanımını kısıtlamaktadır. Hücresel kablosuz ağların 3G'den 4G'ye (Fourth Generation) gelişim ile kablosuz ağlar gerçek zamanlı uygulamalar ve 3D (three dimension) video için daha yüksek kapasite ve daha düşük gecikme zamanını desteklerler.

Farklı kablosuz erişim teknolojilerinin (WiFi, WiMax ve 2G/3G/4G) aynı iletişim noktasında birbirleriyle heterojen yapıda ve kooperatif bir şekilde çalışmaları, daha yüksek performans başarımı için gelecek nesil kablosuz ağ sistemlerinin gelişiminde önemlidir. Günümüzde hücresel ağlar, WLAN (Wireless Local Area Network) ve birlikte çalıştıkları heterojen yapılar, hem endüstrinin hem de akademinin araştırmalarına konu olan teknolojilerdir.

Kablosuz hücresel ağlar, 1970'lerde Bell laboratuarlarında Birinci Kuşak (1G) telefon sistemleri olarak spektrum yoğunluğunu azaltmak için geliştrilmiştir. Etkili oldukları coğrafi bölgeyi 'cell' adı verilen her birinde düşük güçlü vericilerle iletim yapan küçük alanlara bölen hücresel sistemler bir hücreden diğerine otomatik olarak eldeğiştirmenin etkili frekans tekrar kullanımı esasına dayanır [Ata, 1998]. 1970'lerin sonlarında ABD'de birinci kuşak kablosuz hücresel sistemler AMPS (Advanced Mobile Phone Systems) adıyla standardize edilmeye başlanmıştır [Rappaport, 2001]. Kontrol kanalları sayısal ve FSK (Frequency Shifting Key) anahtarlamayı kullanırken, trafik kanalları analog ve FM (Frekans Modulation) modülasyonu kullanmıştır. Trafik kanallarına kanal başına 10 kbps veri transmisyon hızı ve 30 KHz bandgenişliği sunmuştur. Diğer ülkeler tarafında geliştirilen standartlar İngiltere'de TACS (Total Access Communications System), İskandinavya'da NMT (Nordic Mobile Telephone) ve Japonya'da NTT (Nippon Telephone & Telgraph)'dir [Gu, 2005].

Artan hücresel telefon kullanım ihtiyacı ve Avrupa'daki farklı ülkelerde birbirleriyle uyumsuz standart problemi sonraları GSM adı verilen yeni bir sayısal hücresel standartın geliştirilmesi için, 1982'de bir çalışma grubunun kurulmasını getirdi [Lee W,

2006]. 1989'da bu sorumluluk ETSI'ye (European Telecommunication Standarts Institute) devredildi ve TDMA (Time Division Multiple Access) çoklu erişim tabanlı I. Faz (Phase I) GSM özellikleri 1990'da belirlendi [Gu, 2005]. GSM sistemleri 900 MHz bandgenişliğinde çalışır ve tek bir radyo frekans kanalı 200 KHz bandgenişliğini işgal eder ve 270 kbps hızında 8 konuşma kanalına sahiptir. Daha sonra, ABD ve Asya'daki ülkelerse kendi ikinci kuşak hücresel sistemlerini geliştirmişlerdir. Örneğin TDMA tabanlı IS-54 ve CDMA tabanlı IS-95 ABD'de geliştirilmiştir [Gu, 2005].

İnternetin ve özelde IPv6 standardının gelişmesi [European IPv6 Task Force, 2006] paket anahtarlamalı veri servislerinin gelişimini tetiklemiştir. GSM tabanlı olan ve 2.5G adı verilen GPRS [ETSI, 2000] (General Packet Radio Services) sistemi, SGSN (Serving GPRS Support Node) ve GGSN (Gateway GPRS Support Node) yoluyla 64 Kbps'ye kadar paket-anahtarlamalı veri servisleri sunarlar. Fakat yüksek hızlı internet erişimi için bu oran yine de yetersizdir. Bu yüzden IMT2000 (International Mobile Telecommunications-2000) olarak da bilinen 3G mobil sistemler, her hangi bir yer ve zamanda daha esnek ve kesintisiz bir multimedya servisi sunmak için tasarlanmışlardır. IMT2000 standartları aşağıdaki karakteristiklere sahiptirler:

- Dünya çapında kullanılırlar.
- Tüm mobile uygulamalrı için kullanılırlar.
- Hem paket-anahtarlamalı hem de devre-anahtarlamalı transmisyonu kullanırlar.
- Mobiliteye ve kullancı hızına bağlı olarak 2 Mbps'ye kadar veri hızı sunarlar.
- Yüksek spektrum etkinliğine sahiptirler.

IMT2000 ITU (International Telecommunication Union) tarafından tanımlanan bir dizi gereklilikler listesidir. IMT International Mobile Telecommunication'nun kısaltması 2000 ise hem sürüm yılını hem de çalıştığı frekans aralığını (2110-2200 MHz) temsil eder. Tüm 3G standartları bölgesel standardizasyon enstitüleri tarafından geliştirilmiştir. 1998'in sonunda 15 farklı IMT2000 radyo transmisyon teknolojisi önerileri ITU'ya gönderilmiştir. Bu önerilerin değerlendirmeleri 1999'da başlamış ve WCDMA (Wideband CDMA), CDMA2000 ve TD-SCDMA (Time Division-

Synchronous CDMA) erişim teknolojisi standardı olarak kabul edilmiştir [Jorguseski, 2001].

Hücresel kablosuz sistemlerin tarihine bakılınca, gelişmenin tetikleyici unsurunun artan kapasite ihtiyacı ve servis gereklilikleri olduğu görülmektedir. Farklı trafik sınıfları, farklı servis kalitesi ihtiyacındadır. Örneğin 3GPP (3rd Generation Partnership Project)'de [3GPP, 2005] tanımlanan dört trafik sınıfı tanımlanmıştır: konuşma sınıfı (conversational), streaming sınıfı, interaktif sınıf (interactive) ve arkaplan sınıfı (background). Konuşma sınıfı oldukça gecikme hassasiyetine sahip sınıftır. Dördüncü arkaplan sınıf ise en az gecikmeye hassas olan sınıftır. Ses, video gibi servisler olan ilk iki sınıf gerçek-zamanlı trafik RT (real-time traffic) olarak kabul edilirken, e-mail, web tarama gibi servislere sahip son iki sınıf gerçek-zamanlı olmayan trafik NRT (non-real time trafic) olarak kabul edilir.

Farklı servislerin artan bandgenişliği ihtiyacı, kablosuz ağ sistem kapasitesinin etkin kullanımı üzerinde en büyük kısıttır. Bu nedenle hücresel sistemlerde radyo kaynaklarının etkili kullanımı yoluyla sistem kapasitesinin artırılması hem kablosuz endüstrisinin hem de akademideki araştırmacıların ilgilendikleri önemli bir çalışma alanıdır [Miao, 2005].

Hücresel/WLAN entegre sistemde kaynakların etkin kullanım konusu farklı kablosuz ağ çevreleri, farklı kontrol mekanizmaları, farklı kanal erişim ve kullanım şekilleri ve farklı trafik yoğunlukları söz konusu olduğundan daha karmaşık bir çalışma alanıdır [Stevens-Navarro, 2007] .

Hücresel/WLAN entegre ağ üzerinden yapılan yapılan araştırmalar çoğunlukla bu iki ağın nasıl bir mimaride bir araya gelebilecekleri yönündedir [Ferrus vd., 2010], [Makaya ve Pierre, 2007], [Chen vd., 2008]. Ortak çalışma, erişim kontrolü, güvenlik, mobilite yönetimi vb. perspektiflerden gözetilmiştir. Bu ortak yapı ya da çalışma mimarisi oluşturma çabalarının amacı ağların halihazırdaki durumlarında en az değişikliğe gitmek, mevcut yapıları tekrar kullanmak ve entegrasyon için gerekli maliyeti azaltmaktır. Farklı erişim teknolojilerine sahip ağlar arasındaki aramanın eldeğiştirmesine 'dikey eldeğiştirme' (vertical handoff) denir [Stevens-Navarro, 2007].

Hücresel/WLAN entegre ağlarda dikey eledeğiştirme teknikleri ve yönetimi oldukça yoğun olarak çalışılmıştır. Fakat kanal tahsisi ve kaynakların etkili kullanımı bu bütünleşmiş ağlarda en önemli konulardan biri olmasına rağmen araştırmalara henüz yeterince konu olmamıştır. Klein ve Han, (2004) Yu ve Krishnamurthy, (2007) 'nin çalışmaları, yerdeğiştirme, kullanıcı hareketliliği ve trafik karakteristiğini ihmal eder ve yalnızca tek servis için çalışılmıştır. Bozkurt vd. (ICBNMT, 2010) trafik karakteristiklerini ayırarak iki servis için bütünleşmiş ağlarda kaynak tahsisi problemini çalışmışlardır.

Bu çalışmada kullanıcıların istenen QoS gerekliliğini gözeterek, sistem kapasitesinin ağ katmanında (Network Layer) yer alan kanal tahsisi ve arama izin şemaları (CAC, Call Admission Control) yardımıyla hem hücresel sistemlerde hem de yukarıda tanımlanan bütünleşmiş hücresel/WLAN ağ sistemlerinde nasıl maksimize edilebileceği tezin araştırma konusu olarak seçilmiştir. Çözüm olarak,
Hücresel sistemlerde;

- OoS'ni garanti edebilmek ve bandgenişliğini etkin kullanabilmek amacıyla hem gerçek-zamanlı hem de gerçek-zamanlı olmayan servisler için optimal yeni bir arama izin şeması önerilmiştir.
- İzin şeması ile beraber çalışmak üzere, yeni bir bandgenişliği (kaynak) tahsis şeması geliştirilmiştir.
- Önerilen izin şemasının sistem performansını değerlendirebilmek amacı ile Markov zinciri ile analitik model geliştirilmiştir.
- Arama izin şemasının gerçek zamanlı ve gerçek-zamanlı olmayan kullanıcılar için gerekli kanal sayısı, bu kullanıcılardan eldeğiştirme kullanıcılarına yeni kullanıcıların üzerinde daha öncelikli sisteme kabul izni vermek için gerekli eşik (threshold) kanal sayıları gibi izin parametreleri geliştirilen algoritmalarla optimal olarak bulunmuştur.
- Önerilen kaynak tahsis ve arama izin şeması literatürde çok geçen 'New Call Bounding Scheme' ile belirlenen performans kriterleri ile karşılaştırılmış ve önerilen kaynak tahsis ve arama izin şemasının sistem üzerinde çok daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir.

Hücresel/WLAN bütünleşmiş sistemlerde şunlar önerilmiştir;

- Geleneksel homojen ağ sistemlerine göre heterojen ağ sistemi örneklerinden biri olarak seçilen hücresel/WLAN enteğre ağ sistemlerinin ortak ve etkili kaynak kullanımının sistem performansı üzerindeki etkisini göstermek amacıyla yeni bir arama izin şeması önerilmiştir.
- Şema servis farklılığını, yeni ve eldeğiştirme araması farklılığını, gerçek-zamanlı olmayan servislerin bandgenişliği değişimlerine duyarlı olup, kendilerini çalışmada gereken QoS'ni korumak amacıyla önceden belirlenen bir bandgenişliği miktarının altına düşmeden, bu değişime adapte edebilecek yeni bir kaynak tahsisi şeması da arama izin şeması ile beraber kullanılmıştır.
- Performans değerlendirmesi için Markov zinciri ile analitik model geliştirilmiş ve WLAN ile bütünleşmiş çalışılmadığı duruma göre bütünleşmiş çalışma daha iyi performans değerleri sağlamıştır.

Tez çalışmasının kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de kablosuz ağ teknolojileri hakkında mobil ve sabit ağ teknolojileri olarak iki alt başlık olarak bilgi verilmiştir. Arama izin şemalarının kablosuz ağlarda çalıştığı yer açıklanmıştır. Bölüm 3'de Markov Zinciri modelinin arama izin şemalarının matematiksel analizinde literatürde kapalı-form (closed-form) halinde verilen formül ve eşitlikleri daha sonraki bölümlerde geliştirilecek olan yeni analitik modellerin anlaşılmasına temel teşkil etmesi bakımından hem bir-boyutlu hem de iki-boyutlu Markov Zinciriyle beraber açıklanmıştır. Bölüm 4'de iki-boyutlu Markov Zinciri kullanılarak ses ve veri servisleri arasında kaynak paylaşımı amacıyla yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Bölüm 5'de ses ve veri servislerinde kaynak paylaşımı yeni bir arama izin şeması ve analitik model üzerinden optimal kontrol parametrelerini hesaplayan bir algoritma ile beraber geliştirilmiştir. Bölüm 6'da önceki iki bölüm geliştirilerek optimal kontrol parametrelerini belirleyen algoritma entegre hücresel/WLAN sistemlerde çalıştırılmış, bu sistem için yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Bölüm 7'de ise

tez çalışması ile ilgili bulgular ve gelecekte yapılması planlanan çalışma konu ve başlıkları yer almaktadır.

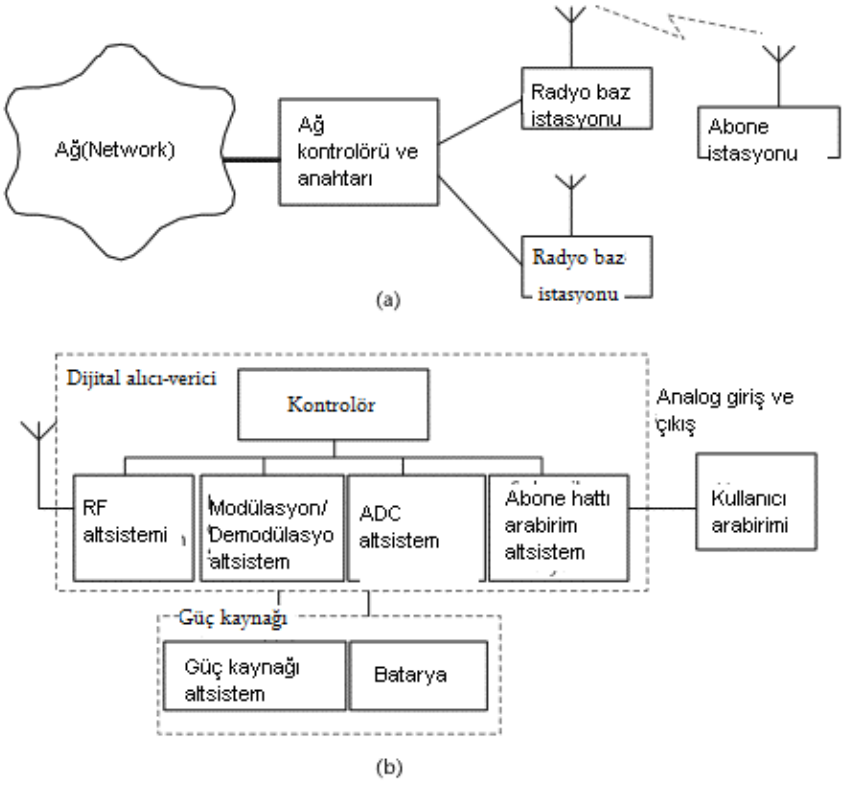
2. KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ

Anahtarlama ve transmisyon telehaberleşme sistemlerinde gelişirken, ağa erişim yetenekleri, yerel döngü ya da son mil, 1980'lere kadar değişmeyen bir alan olarak kalmıştır. 1980-2000 aralığında ise, yarı iletken teknolojisi ve radyo tekniklerindeki gelişmeler hem kablolu hem de kablosuz son mil erişim teknolojilerini yenilemek için zorunlu güç olmuştur. Kablosuz ağ teknolojileri iki şekilde görülür: sabit (fixed) ve mobil (mobile). Tez çalışmasında mobil kablosuz ağ teknolojisi olarak hücresel ağ sistemleri ve sabit kablosuz ağ teknolojisi olarak ise WLAN modellenmiştir. Bu teknolojilerin ortak çalıştıkları platform tüm-IP (all-IP) yapısıdır. IP ağ katmanında yer alan bir protokoldür. Arama izin şemaları, ağ katmanında bu teknolojilerin sundukları hizmet ve servislerin QoS'ini iyileştirip düzeltmek için çalışırlar. Arama izin şemalarının kullanıldığı kablosuz ağ teknolojileri aşağıdaki bölümlerde mobil haberleşme ve sabit ağ teknolojileri olarak açıklanmıştır.

2.1 Mobil Hücresel Haberleşme

Şekil 2.1 (a) üç temel bileşeni ile basit bir kablosuz erişim sistem modelini göstermektedir. Abone istasyonu sabit ya da mobil radyo alıcı-vericisidir. Bu ağa tek bir devre sağlar. Abone istasyonunun fonksiyonu kullanıcının radyo kanalı üzerinden transmisyonu için ses, görüntü ya da veri şeklindeki mesajın formatlamak ve alınan

sinyal için de bu işlemlerin tersini gerçekleştirmektedir. Şekil 2.1 (b)'de abone terminalinin fonksiyonel blok diyagramı gösterilmiştir. Kapsama alanının büyüklüğü birkaç yüz metreden onlarca kilometreye uzanır. Kablosuz erişim sistemleri adaptif (uyarlamalı) yayım tekniklerini oldukça yoğun trafikli radyo çevrelerinde işlem yapmak için kullanır. Baz istasyonları mobil anahtarlama merkezi MSC (Mobile Switching Center)'ye ve ağ kontrolörüne yüksek kapasiteli kanallar yoluyla bağlanır. Ağ kontrolörcüsü tüm kablosuz erişim sistem operasyonunu yönetir, kendisi ve dış ağlar arasında iç bağlantılar kurulmasını sağlar ve devrelerin bireysel abonelerine tahsisini belirler, sistem performansını gözetir ve abone veri tabanları sürdürümü yoluyla gelecekteki servislerin ihtiyacına destek olur. Kablosuz erişim sisteminin bağlanabileceği dış ağlar PSTN (Public Swicth Telephone Network), ISDN (Integrated Services Digital Network) ya da özel bir LAN (private LAN), ya da WAN (Wide Area Network) olabilir.



Şekil 2-1 Basit Kablosuz Erişim Sistem Modeli

2.2 Hücresel Sistemlerin Gelişimi

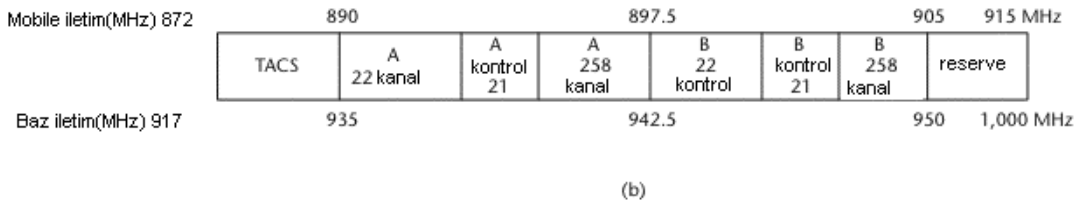
Mobil radyonun en eski kullanımı Detroit polis merkezinin 1921'de 2 MHz'deki bandgenişliğiyledir [wave-guide]. 1940'larda ise 30-40 MHz arası da kullanılabilir kılınmıştır. II. Dünya savaşından sonra ek spektrumlarla geliştirilen sistemler 150-450MHZ aralığında idi [wave-guide]. 1960'larda otomatik kanal seçimi düzeltilmiş (iyileştirilmiş) mobil telefon sistemlerinde IMTS (Improved Mobile Telephone System) yine 450MHz'de tanıştırılmıştır [wave-guide]. IMTS sistemler tek baz istasyonu ile oldukça yüksek konumda 20-50mil çapında geniş bir kapsama alanı ile kurulmuştur. Her bir kanal için baz istasyonu 200-250W arasında bir iletim gücü harcıyordu. Mobil telefon ihtiyacı büyüdükçe tamamen farklı tasarımda düşük-güçlü baz istasyonları ve spektrum yeniden kullanımı söz konusu oldu. Aynı zamanlarda geliştirilen diğer iki kablosuz teknoloji halk bandı CB (Citizen's Band) ve kablosuz telefon sistemleri (cordless telephone systems) hücresel teknolojiye önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Hücresel kavramı 1970'ler boyunca Bell laboratuarlarında geliştirilmiş ve ileri mobil telefon sistemlerinin AMPS inşa edilmesine yol açmıştır [Chen ve Guizani, 2006].

2.2.1 Birinci kuşak (1G) hücresel sistem ve standartları

Birinci kuşak hücresel sistemler konuşma iletimi için FM'yi, sinyal işleme için FSK'yı ve çoklu erişim için FDMA'yı kullanmışlardır [Karmakar ve Dooley, 2008]. FDMA hücresel sistem tasarımı 1970'ler boyunca AT&T Bell laboratuarlarında geliştirilmiştir. İlk uygulama ileri mobil telefon sistemi AMPS idi. Ardından birçok diğer benzer sistemler kullanılmıştır. Bunlar toplam erişim haberleşme sistemi (TACS), Avrupa'da Nordic Mobil Telefon (NMT), Nippon Telefon ve Telgraf (NTT) ve Doğu Asya'daki Japon Toplam Erişim Haberleşme Sistem (JTACS)'dır.

AMPS Analog hücresel sistem olarak kullanılmıştır. Şekil 2.2 AMPS tarafından işgal edilen frekans bandını gösterir. Çıkışlink (uplink) ve inişlink (downlink) 45MHz

aralıklarla ve kanal boşluğu da 30 KHz olarak belirlenmiştir. Frekans tahsisi biri kablosuz operatöre diğeri de kablolu operatöre olmak üzere ikiye A ve B bandlarına bölünür ve iki operatöre aynı alanda operasyon yapma imkânı tanır. Ek olarak 10kbit/saniye FSK 21 kontrol kanalı üzerinden kullanılır. AMPS'de mobil istasyonları maksimum müsade edilen efektif yayınım güçlerine (ERP, Effective Radiated Power) göre kategorize edilirler. Bu maksimum içinde, çeşitli güç seviyeleri tanımlanır. Bir mobil için işlem güç seviyesi C'yi karşılamak için gerekli en düşük seviye olarak tanımlanır.



Şekil 2.2 AMPS Frekans Kullanımı

2.2.2 İkinci kuşak (2G) dijital hücresel sistemler

İkinci kuşak mobil hücresel sistemler dijital ses iletimi kullanırlar [Paul ve Shah, 1997]. Büyük-ölçek IC teknolojileri ve dijital sinyal süreci donanımları karmaşık ama kompakt, enerji-etkinlikli sistemlerin düşük fiyatta oluşturulmalarını mümkün kılmıştır. İkincil kuşak hücresel sistemlerin gelişiminde en önemli adım genişleyen mobil servis kapasiteleriydi. Dijital istemler hücresel operatörlere, daha ekonomik olarak yüksek yoğunluklu servis sağlayabilirken, TDMA ve CDMA yoluyla MHz başına baz istasyonu ölçeğinde daha fazla kullanıcıyı destekleyebilirler. Dijital yapı ayrıca aşağıda sunulan avantajlara da sahiptir:

- Dijital kablolu ağlar ile daha kolay bütünleşme
- Ses veri karışımı için esneklik ve yeni servisleri destekleme
- RF iletim iletim gücünün daha düşük olması (batarya ömrünü uzatma)
- Güvenlik ve güvenilirlik için kriptolama

Dört ana 2G hücresel iletişim standardı bulunur: GSM ve türevleri, dijital AMPS (D-AMPS), kişisel dijital hücresel (PDC) ve CDMA- one (IS-95) tabanlıdır. İlk üçü TDMA tabanlı iken, dördüncü CDMA tabanlıdır

1982'de CEPT (Conference Europene des Postes et Telecommnication) Avrupa telehaberleşme kurumu 900MHz bandında TDMA tabanlı dijital hücresel sistem görevi için Grup Özel Mobil komitesini oluşturmuştur. Sistem daha sonralar "Global System for Mobil" GSM adıyla yaygınlaşmıştır. Temel GSM sistemi 900MHZ'de işler. İki frekans yukarı kaydırmalı türevi ile dijital hücresel sistem-1800 (DCS-1800) Avrupa, Orta Doğu ve Afrika'da kullanılırken, kişisel haberleşme sistemi-1900 (PCS-1900) standartı Kanada ve ABD'de kullanılır. Daha yüksek frekans bandı için ana sebep 900 MHz bandındaki kapasite yetersizliğidir. Kombine edilmiş FDMA/TDMA erişim şeması sekiz kanalla tek bir RF taşıyıcısı üzerinden seçilmiştir. Kodlama (encoding) ve hata koruma 20 ms konuşma çerçeveleri için yapılmıştır. 13 kb/s düzenli darbe tetiklemeli lineer sezici kodek (RPE-LPE) tam oran seviyesinde konuşma için kullanılmıştır. Spesifikasyonlar tek RF taşıyıcısı başına 16 kanalı kullanmaya yarı oran kodek ile müsâde ederler. Kodlanan konuşma blok/konvolüsyon kodlama şeması ile hata korumalıdır. 20 ms çerçeve 456bit (260 bit konuşma ve 196 bit hata koruma içerir). Herbir kanal veriyi 270.8 kbit/s ile iletir. Yüksek veri oranından dolayı da kanal eşitleme (channel equalization) gerekli olur. Koruma bitleri ve dizimin sonunda bulunan kaynak (tail) bitleri de alıcı-vericinin gücü düzgünce artırıp azaltmasına yardım eder. Sonuç 270.8 kbit/s veri dizisi GMSK (Gaussion Minimum Shift Keying) modüleli atanan bir zaman slotunda iletilen bir sinyaldir. Trafik ve kontrol kanallarının nasıl biçimlendiğini gösterir. Kanal eşitlemeye ek olarak GSM frekansı atlamayı (frequency hopping) sinyalin bozulmasını önlemek için kullanılır.

2.2.3 2G Hücresel sistemler üzerinden veri

Başlıca, ses iletimi için tasarlanan GSM devre anahtarlamalı yalnızca 9,6kb/s'de, daha sonra ise 14,4 kb/s 'de veri sağlayabilmiştir [Karmakar ve Dooley, 2008]. GSM'in ilk özelliği kısa mesaj servisi SMS olmuştur. 2.5G nesil ise ikinci kuşak için geniş ve çeşitli geliştirilmiş düzenlemeler içeren bir tasarımdır. Yüksek hızlı devre-anahtarlamalı veri HSCSD (High Speed Circuit Swicthed Veri), genel paket radyo servisi GPRS ve

GSM gelişimi için genişletilmiş veri oranı EDGE (Enhanced Veri Rates for GSM evulation) 2.5 kuşağının içerdiği tekniklerdendir. Bu teknikler 3G kuşak için basamaklardır.

2.2.3.1 HSCSD

HSCSD kullanıcıya çoklu time slotu tahsis etme tabanlıdır ve ağ yapısına köklü bir değişiklik getirmez [Rappaport, 2002]. Tek bir time slotu 9.6 ya da 14.4 kbit/s taşır ve bu oran slot sayısı ile katlanır. 57.6 kbps veri oranları başarılır. Yerine getirilmesi, uygulanması oldukça ucuz olmasına rağmen başlıca sıkıntı çektiği konu devre anahtarlamasıdır. Bundan dolayı dünya çapında birkaç operatör hücresel tekniği kullanmıştır.

2.2.3.2. GPRS (General Packet Radio Service)

Bu günün mobil veri haberleşme ihtiyaçlarının büyük bir kısmı e-mail, web tarama gibi yoğun trafik tabanlıdır. Bu durumda devre-anahtarlamalı bağlantı gereksizdir. GPRS ile 115kbit/s veri aşılabilir [Rappaport, 2002]. Paket anahtarlama kullanılır. GPRS yine GSM radyo modülasyonunu, frekans bandını ve çerçeve yapısını sürdürür. Bununla beraber, önemli fonksiyonel ve operasyonel değişimler paket tabanlı veri iletişimi için gereklidir. Geleneksel GSM için GPRS destek düğümleri adını verdiğimiz GSNS (GPRS Support Nodes) yeni sınıf lojik ağ elemanları geliştirilir. Mobil orijinli iletimde, SGSN gelen paketleri alır ve uygun GGSN'e iletir. GGSN gerçek kamu veri ağıdır (PDN, public veri network). PDN'den gelen paketler GGSN' ye hedef adrese göre yönlendirilir. GPRS register (GR), GSM-HLR register ile de bütünleştirilebilir ve abone verisini ve yönlendirici bilgiyi kapsar. GPRS'in tasarım prensipleri her zaman on-line olma özelliği, yoğunluk kadar ücretlendirme, kablolu modemler ile başarılabilecek veri oranları, radyo kaynaklarının daha uygun ve kullanımı çıkış ve iniş linklerinin ayrı ayrı tahsisleridir. GPRS paralel işler fakat ses servislerinden bağımsızdır. Sekiz time slot kullanımdayken maksimum veri oranları mümkün olur.

2.2.3.3 EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

HSCSD ve GPRS hava arabirimi (air interferance) değiştirilmeden bazı ek kapasiteler ile daha yüksek veri hızlarına erişebilmişlerdir. Tersine EDGE, bu arabirimde modülasyon ve hata düzeltim kodlama tekniklerini destekler. EDGE zaman değişken kanala en uygun modülasyon ve kodlama şema kombinasyonlarını seçen link adaptasyon mekanizmasını kullanır. 8-PSK (8-Phase Shift Keying), GMSK'yı desteklemek için kullanılır. Bu daha yüksek spektral verimliliğe sahiptir ve uygulaması çok fazla zor değildir. Time slot başına 69,2 kb/s, 22,8 kb/s GMSK ile karşılaştırıldığında yüksektir. Birçok kanal kodlama şeması şartların değişiminde tanımlanmıştır. Adaptasyon link kalitesiyle ilgilidir ve 8PSK temel hata düzeltimi ile baz istasyonundan kısa mesafede etkilidir. Uzaklık arttıkça, hata düzeltim şeması azalan C yi uygunlaştırmak için değişir. Bir hücrede I (Interference) ya da N (Noise) kenarına doğru modülasyon/kodlama şemaları (GSM'deki) geriye düşer. GPRS çerçeve yapısını tekrar kullanma yoluyla paket veri servisleri teorikte 554 kb/sn ile pratikte sekiz zaman slotunu kullanarak ve yeterli hata koruma ile 384 kbit/s ye ulaşır. Bu kavram devre-anahtarlamalı işlem moduna uygulanabilir ve HSCSD'yi geliştirmek için zaman slotu başına veri oranını 28.8 kbit/s'ye çıkarmak için kullanılabilir. EDGE, üçüncü kuşak hücresel sistemlere doğru bir ara birim olmuştur.

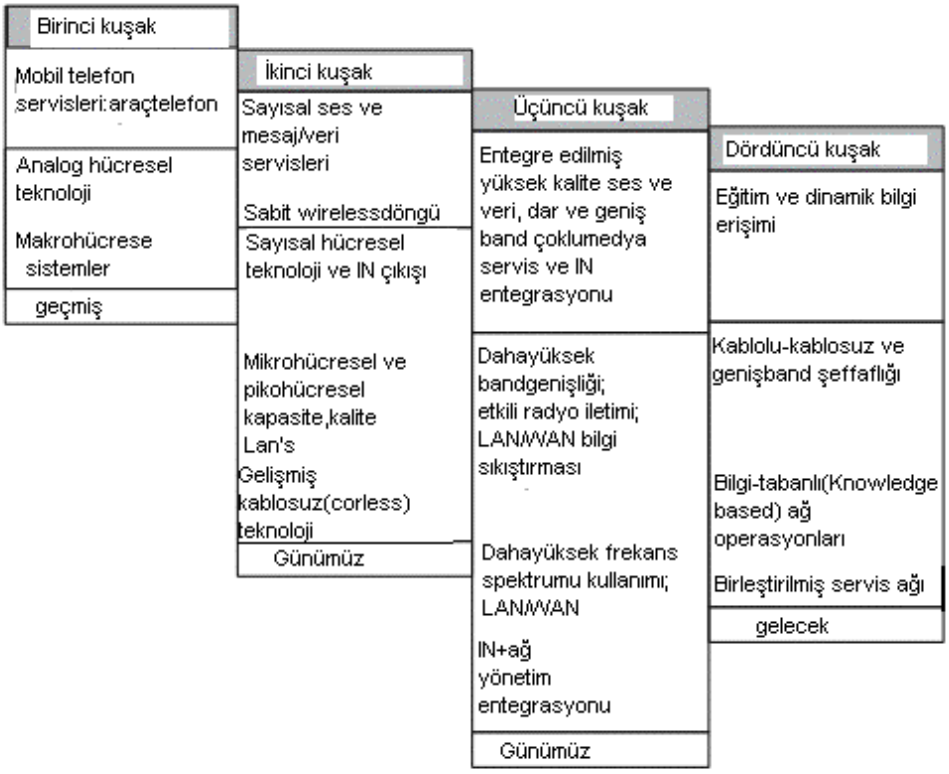
2.2.4 Üçüncü kuşak (3G) hücresel sistemler

Şekil 2.3'de önceki kuşaklarla karşılaştırıldığında üçüncü kuşak kablosuz sistemlerin amaçlarını resmeder.

Üçüncü kuşak hücresel sistemlerin başlıca gereksinimleri şunlardır:

- Daha yüksek kapasite ve düzeltilmiş spektrum özelliği
- Kesintisiz küresel (global) hareketlilik
- Kablolu ve kablosuz ağların entegrasyonu
- Hem devre anahtarlamalı hem de paket anahtarlamalı servis desteklemeleri

- Yüksek veri oranları (en az 144kbit/s tercihen 384kbit/s) tüm radyo çevrelerinde ve Mbit/s düşük hareketlilik ve kapalı bina çevrelerinde - Kapalı alan (indoor) açık alan (outdoor) ya da mobil çevrelerde işlem için esneklik
- Mevcut ulusal/bölgesel sistemlerin 3G'ye düzgün geçişi
- Ekonomik ölçek ve geniş marketin ihtiyaçlarını karşılayacak açık global standartlar [Sang, 2007].



Şekil 2.3 Kablosuz Sistem Kuşakları

ITU [Demestichas, 2003] 3G için 1986'dan beri çalışmaktadır. Bu aktivitelere bölgesel ya da ulusal kuruluşlar Avrupa da ETSI, TIA **(**Telecommunications Industry Association) ve TIA Kuzey Amerika, Japonya'da Radyo Endüstri ve Kuruluşları ARIB **(**Association of Radio Industries and Businesses), Güney Kore'de Telehaberleşme Teknoloji Birliği TTA (Telecommunications Technology Association) katkı sağlarlar.

3G amaçlarını karşılamak için dünya çapında frekans spektrumu önemliydi. ITU'nın verdiği detaylar ışığında, Dünya Yönetimsel Radyo Konferansı (WARC) (World Administrative Radio Conferance) 1992'de 230 MHz'i belirledi [Chen ve

Guizani, 2006]. Revize edilerek 519 MHz daha sağlandı. Uluslar arası standart IMT-2000 olarak bilinir. IMT-2000 standardı ikinci kuşak sistemlerde çalıştığından operatör üçüncü kuşak servisler kolaylıkla geçiş yapabilirler. Hem FDD hem de TDD (Time Division Duplex) kullanılmıştır.

1988'de toplam 15 öneri organizasyonlar tarafından üçüncü kuşak radyo iletişimi için ITU'na ya iletilmiştir. Öneriler arasında birçok adayın benzer özellikleri vardı. [ETSI, 1999]'nin evrensel mobil telehaberleşme sistemi (UMTS) karasal radyo erişimi (UTKA) arabirimi, ARIB'den gelmişti, TIA ise genişband CDMA sunmuştur. Tek TDMA öneriside yine TIA tarafından gelmişti. Tüm önerileri harmonize etmek için diğer standart kuruluşlarıyla birlikte ITU, bazı genel özellikler üzerinde anlaştılar. ETSI, ARIB, T1P1 ve TTA üçüncü nesil ortaklık projesi olarak bilinen 3GPP'nin genişbant-CDMA tabanlı olmasına karar verdiler. CDMA standardı 3 işlem moduna sahiptir: direk-sıralı (directsequency DS-CDMA), çok taşıyıcılı mod (MC-CDMA) ve TDD modu (TD-SCDMA). Orijinal üçüncü kuşak standardizasyon çalışmalarının amacı tek bir dünya standardı geliştirmek iken, bugün "dörtlü harmonize edilmiş aile" mevcuttur.

İkinci kuşak ile karşılaştırıldığında 3G birçok yeni teknolojiyi kullanır. Detaylı teknik tanımlar [Trillium Digital Systems, 2000]'de bulunabilir.

Çıkış Linkinde Dedeksiyon: W-CDMA çıkış linkinde etkili dedeksiyon kullanılır. Bu daha önce hücresel CDMA sistemlerinde kullanılmayan bir özelliktir ve 3dB'lik performans düzeltimi yaratır.

Çıkış linkinde çok kullanıcılı dedeksiyon: Bir hücreli kullanıcılar arasındaki girişim CDMA sistemlerin performans ve kapasitesini kısıtlayan bir faktördür. Geleneksel dedektör tek kullanıcı sezimi izler, yani baz istasyonunda her bir kullanıcı diğerinden bağımsız ayrı ayrı dedekte edilirken, daha iyi bir sezim için çok kullanıcılı dedeksiyon, yani çoklu kullanıcılar hakkındaki bilgiden aslında daha iyi bir bireysel kullanıcı sezimi için yararlanılır.

İniş linkinde adaptif anten dizileri için destek: Çeşitlilik yaklaşımı sinyalleri bozulmaya karşı bir önlemdir. Çoklu anten bu düşünceyi destekler. Adaptif antenler link kalitesini farklı yönlerden gelen eşkanal girşimini azaltarak, arttırır ve SDMA yaklaşımı ile yani

uzay bölüşümlü çoklu erişimi ile farklı yönlerdeki farklı kullanıcılar için aynı frekans kanallarını eşzamanlı olarak yeniden kullanım yoluyla link kalitesini arttırırlar.

Hiyerarşik Hücre Yapıları: Mikro hücreler piko hücreler ve daha büyük makro hücreler daha yüksek kapasite başarımı için önerilmiştir. 'Hotspot' denilen mikro hücreler ayrıca yüksek trafik alanlarında kullanılırlar. Farklı hiyerarşide bulunan hücreler farklı frekans bantlarında olacaklarından, eldeğiştirme düzgün olarak işler.

İniş linkinde iletişim çeşitliliği: (Transmit Diversity) Bu yine iniş link performansını düzelten başka bir tekniktir. DS-CDMA için bu teknik veri dizisini ayrıştıracak iki dizi halinde yayma esasına dayanır. Çok taşıyıcılı CDMA için ise farklı taşıyıcılar farklı antenlere yönlendirilir.

2.3. Sabit Kablosuz Erişim

2.3.1 Giriş

WLL **(**Wireless Local Loop) ve FWA (Fixed Wireless Access) kullanıcıların kablosuz link yoluyla bağlantını sağlamak için kullanılan terimlerdir ve bakır kabloya tamamlayıcı ya da yerdeğiştiren olarak kullanılırlar. WLL sistem gelişiminin başlarında (1990'lar) ses servisleri için kullanılmış ve veriye doğru geçilmiştir. Sabit radyo erişim ağ yapısı genel olarak hücresel sistemler ile aynıdır, yani servis sağlayan radyo baz istasyonu çevresindeki alana yayın yapar. Aboneler PSTN'ye link verilen radyo ünitesi yoluyla servis alırlar. WLL sistemler minimum planlama gerektirirler ve hızlı bir şekilde kullanılırlar. Kurulum ücretleri minimumdur ve kabloya gerek yoktur. WLL sistemleri kullanıcıya daha düşük ücretlerde kapsama ve daha yüksek transmisyon hızları, daha geniş bandgenişliği servisleri ve paketlenmiş veri servisi gibi gerçek servislere de karşılık sağlar. WLL sistemlerin hızlı büyümesini önleyen anahtar faktörler, dünya çapında frekans tahsisi yoksunluğu ve teknik standartlardır.

2.3.2 Erişim teknolojileri

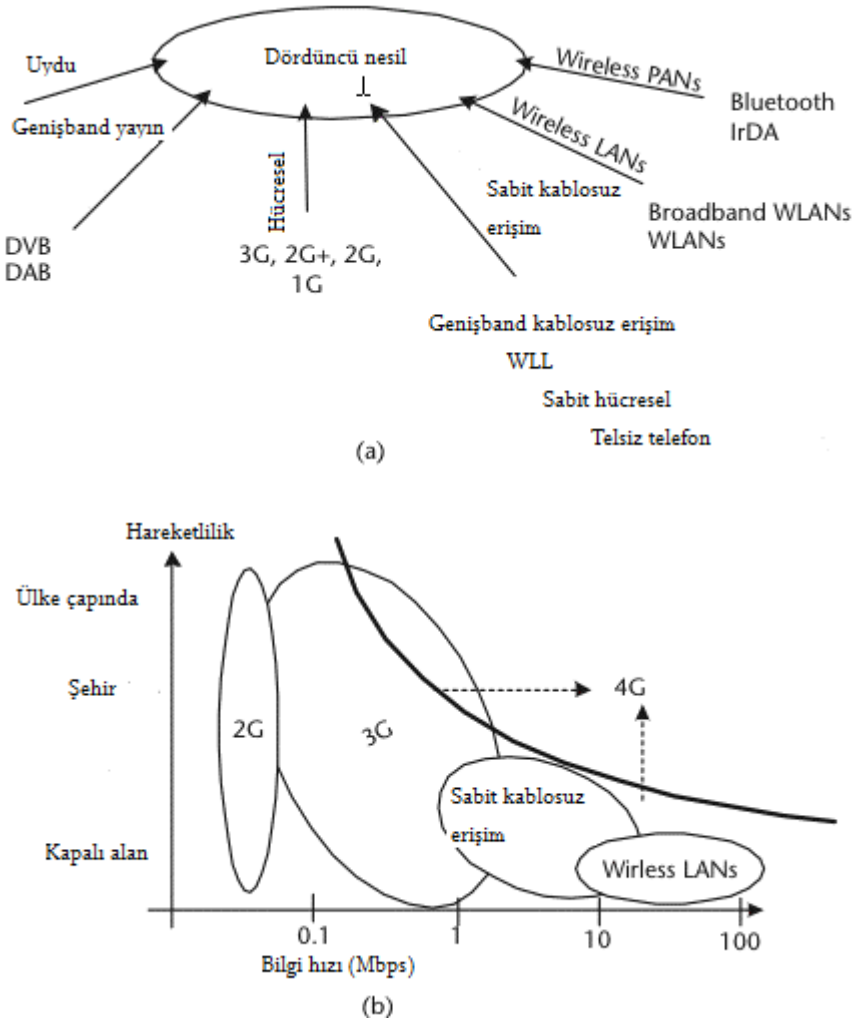
Ses telefon sistemlerinden geniş bant servislerine olan değişim ve gelişme ile aşağıdaki erişim teknikleri gelişmiştir:

- DSL (Digital Subscriber Line)
- Üçüncü Kuşak Mobil (3G)
- Sabit/mobile entegrasyonu
- Mikrodalga video dağıtımı
- Fiber optik dağıtımı olarak--Internet telefonu
- Dijital geniş band yayımı
- Uydu Sistemleri
- Güç hattı Haberleşme

Birleşme konsepti (**convergence**) farklı medyanın (Sesi, Veri, Video vb.) aynı yol üzerinden bütünleşmiş form olarak iletildiği şekildir.

2.3.3 Kablo erişim için alternatifler

DSL sistemleri mevcut altyapıyı kullanırlar. Uydu tabanlı kablosuz erişim ise yoğunluğun (nüfus) az olduğu uzak bölgeler ya da özellikli servisler için [örneğin banka işlemleri) kullanılır. Kablosuz LAN'lar ve kişisel alan ağları (PANs, Personel Area Networks) bina içi kısa mesafe erişim şemalarıdır[kularatna]. Tüm bu erişim semaları ile geniş bant erişim sistemlerin birleştirilmesine, tek bir yapıda toplanmasını amaçlayan ve 4G olarak adlandırılan kablosuz sistem amaçlanır. Bu çok boyutlu alanda WLL'yi konumlandırmak istediğimizde, WLL'nin iki rolü olduğu görülür: Birincisi temel ses servisi için bir teknoloji olması. Bu uygulama senaryosu bekleyen listelerini azaltmak amacıyladır. İkincisi ise genişband erişimi için ileri bir metod olması. İlk rol gelişmekte olan ülkeler ve yüksek kapasite ve yoğun trafik uygulamaları için geçerliyken, ikincisi ortaya çıkan multimedya, iletişimi için önemli olmaktır. Şekil 2.4 farklı erişim teknolojilerini göstermektedir.



Şekil 2.4 Farklı Kablosuz Erişim Alternatifleri (a) Birleşim (b) Kapasiteler

2.3.4 Geniş bant sabit kablosuz erişim sistemleri

Hücresel sistemler ve WLL Sistemler geniş bir kapsama alanında saniyede onlarca kilobit veri hızlarında erişim yaparlar. Taşıyıcı servisler (broadband erişim olarak tanımlanan) (yüzlerce kilobit/s'den 2 Mbit /s'yeye kadar) üçüncü kuşak IMT-2000'de hem sabit hem de mobil sistemler için tanımlanırlar. İki sınıf genişbant sabit kablosuz erişim BMW (Broadband Fixed Wireles Acces) sistemi vardır: Biri genişbant televizyon yayını (yüzlerce km aralığında) diğeri ise kablosuz LAN'lerdir (WLANs). Kablosuz LAN'ler onlarca metre kapsama alanında 2-50 Mbit/s hıza sahiptirler.

Genişbant kategorisi çok kanallı, iki yönlü sabit kablosuz haberleşmea doğru ilerlerken WLAN'lar geniş band bina dışı açık olan sistemler olarak ATM

(Asynchronous Transfer Mode) ve TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) ulaşım ağları ile değişmektedir. USA' da Federal Haberleşme Komisyonu (FCC) ticari BWA Sistemleri için 15 band ayırmıştır. Frekans tahsisi diğer ülkelerde de benzerdir. ISM bandı olarak bilinen 3.4 ile 2.48535 GHz arasındaki band lisansız olması nedeniyle popülerdir ve bununla ilgili teçhizat satan firmalarca dünya çapında kullanılmaktadır. Diğer lisansız bant ise 5.725 – 5.875 GHz aralığındadır.

2.3.4.1 Geniş bant sistemi olarak WLAN (Wireless Local Area Networks)

Kablosuz LAN'leri ve genisbant erişim sistemlerini Japonya'da multimedya mobil erişim haberleşme MMAC (Multimedia Mobil Accses Comminication) sistemi, Avrupa'da genişband radyo erişim ağı ailesi BRAN (Broadband Radyo Accses Networks) ve ABD'de IEEE 802.11 olarak düşünebiliriz.

2.3.4.2 IEEE 802.11

Haziran 1997'de, IEEE hem fiziksel hem MAC kurallarını tanımlayan 802.11 Standardını kabul etti. Üç Fiziksel Katman Tanımlandı: İkisi 2.4 GHZ ISM'de frekans-atlamalı yayılım Spektrumu (FH/SS Frequency hopping/spread spectrum) ve direk dizili yayılım spektrumu (DS-SS Direct Sequence-spread spectrum) ve diğeri kızılötesi ile (infrared) dalgayı kullanan fiziksel katman. Tüm fiziksel katmanlar 2 Mbit/s destekledi̇ler. Çoklu erişim (Multiple access) için taşıyıcı hassasiyetli çoklu erişim çarpışma kaçınımlı (CSMA/CA=Carrier sense multiple access/ collision avoidance) dağıtılmış [medium] erişim kontrol protokol (MAC=Medium Access Control) olarak benimsendi. Daha yüksek hızlar için 802.11b, 11 Mbit/s sağlandı [WANG]. 802.11 a ise 5.2GHz bandında 54 Mbit/s OFDMA çoğullaması kullanarak standardize edildi.

2.3.4.3 IEEE 802.16 Kablosuz MAN (Metropolitan Area Network)

IEEE 802.16 2 ile 155 MBit/S arasında veri hızı sağlar. İlk olarak Nisan 2002'de bu standart başlamıştır. Son mili adresler ve 10-66 GHz Arasındaki bandı etkili kullanır. Genel bir MAC katmanını çoklu fiziksel katmanı desteklemede kullanılır. Fiziksel ve MAC katmanı arasında, iletim birleşimi TC (Transmission Convergence) alt katmanı bulunur ve farklı fiziksel katmanlar arasında bağdaştırıcı görevi yapar. Daha düşük frekanslarda müşterilere daha ucuz fakat daha düşük veri hızlarında hizmet sunar. Yüksek frekans sistemleri ise daha büyük işletme tarzında müşterilere hizmet verir. Telekom operatörleri için ekonomi bakımından geleceği tartışılırken, asıl kritik faktör kullanım kolaylığıdır.

2.4. Dördüncü Kuşak (4G) Sistemler ve Heterojen Ağlar

xDSL (xDigital Subscriber Line) ve WiFi erişim teknolojileri ile internet erişmek genişband erişim için tüm dünyada büyük bir istek yaratmıştır ve sonrasında kullanıcılar genişband servislerini dizüstü bilgisayarlarında, PDA cihazlarında ve mobil telefonlarında aramaya başlamışlardır [PARASAD]. 3G mobil sistemleri hızlı gelişen ihtiyaca cevap vermek için genişbant erişim servisleri devreye sokmuştur. Fakat 3G'nin kısıtlamalarından internete erişim hızı sabit hatlara ve sabit kablosuz sistemlere oranla 384Kbps ile oldukça düşüktür. Bu oran servisin hızını ve kalitesini düşük, servis fiyatını ise nispeten yüksek tutmaktadır. 2G, 3G ve bir dizi kablosuz sistemler ki bunlar GPRS, GSM, Bluetooth, WLAN bağımsız olarak geliştirilmişlerdir, farklı servis tiplerini veri hızlarını ve kullanıcıları hedeflerler. Tüm bu sistemler kendi avantaj ve kısıtlılıklarına sahiptir ve diğer bir teknolojinin yerine geçecek yeteri kadar iyi tek bir sistem yoktur. 4G sistemler için yeni radyo teknolojileri ve arayüzleri geliştirmek yerine, 4G sistemleri tüm var olan ve geliştirilecek olan kablosuz sistemleri entegre edecek bir yapı yoluna gidilmektedir. Örneğin Asya'da, Japon operatör NTT DoCoMo 4G'u şöyle tanımlamaktadır: "Herhangibir anda, herhangibir yerde, herhangibir kimse tarafından mobil çoklumedya'ya erişim, küresel hareketlilik desteği, entegre kablosuz çözümler ve

özelleştirilmiş kişisel servis". 4G'da amaçlanan bina içi çevrelerde 100 Mb/s, açık alanlarda ise hücresel 1 GB/s'dir.

4G, 3G'nin uzantısı olarak görülmemelidir. Avrupa Komisyonu ise 4G'yi şöyle görür: "4G birden çok kablosuz sistem üzerinden kesintisiz servis provizyonu en uygun link yoluyla optimum dağıtım sağlayacaktır" [Hui ve Yeung, 2003].

4G için, Mobile VCE (Mobile Virtual Centre of Excellence), MIRAI (Millennium Research for Advanced Information Technology) ve DoCoMo (Do Communications over the Mobile network) vb.farklı araştırma programları devam etmektedir.

Multimedya uygulamaları için, farklı QoS gereklilikleri ve farklı kablosuz erişim teknolojilerinin varlığı heterojen (4G) kablosuz ağlarda etkili CAC algoritma tasarım ve düzenlemesinde önemlidir.

Heterojen bir çevrede, bir diğerine internet yoluyla bağlı olan her bir kablosuz ağ, gelen bir aramanın kabul edilip edilemeyeceğine karar vermek durumundadır. Eğer arama ağa kabul edilirse, gereken kimlik belirleme, izin ve hesap adımlarının uygulanması gerekecektir. Mobil IP gibi yön atama seviye protokolü ulaşım (transport) seviye bağlantıları bir ağdan diğer bir ağa kesintisiz şekilde transfer edebilir.

4G sistemlerdeki kesintisiz bağlantı ve küresel hareketlilik şartlarından dolayı, belli bir ağdaki bir aramanın diğer ağa yönlendirilmesine 'dikey eldeğiştirme' denir. Geleneksel sinyal gücü-tabanlı eldeğiştirme işleminin örneğin ağdaki 'trafik yoğunluğu' (network congestion) gibi diğer sistem parametreleri hesaba alınmadan başlatılması performans başarımı açısından yeterli olmayabilir. Örneğin gerçek zamanlı-olmayan uygulamaları kullanan bir mobil kullanıcılar hücresel ağdaki trafik kanallarının kullanımındaki yoğunluğunu azaltmak üzere WLAN ağa eldeğiştirebilirler. Bu eldeğiştirmeler her bir ağdaki 'arama süresini' etkiler.

Hücresel/WLAN entegre ağlarda, kaynak tahsisi ağ heterojenliğinden dolayı çok önemlidir. Ortak kaynakları daha etkin kullanabilmek için şu karateristikler göz önüne alınmalıdır:

- Heterojen kablosuz erişim alanı: Örneğin hücresel UMTS sistemler CDMA(code-division multiple access) erşim teknolojisini kullanırlar. Burada bir mobil baz istayonuna transmisyon isteği gönderir, istasyon kabul eder, ve kaynak ayırır. Merkezi kontrol ve reservasyon-tabanlı kaynak tahsisi (centralized and reservation-based resource allocation), uygun bir kabul kontrol (admission control) ile istenen QoS'i sağlayabilmek için trafik yükünü limitler. Tersine WLAN'ler merkezi değil dağıtılmış (distributed) kontrol fonksiyonu DCF(Distributed coordination function) ile rastgele erişim tabanlıdır. Yani DCF bir AP (access point) için yarışan mobil kullanıcılarına best-effort tarzında hizmet sunar. Her ne kadar QoS sağlama kapasiteleri EDCF (enhanced DCF) ile geliştirilse de hücresel ağların kesin bir QoS sağlamasıyla karşılaştırıldığında yeterli değildir.

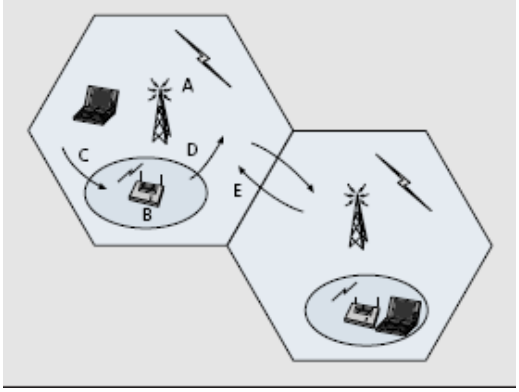
- Hiyerarşik çakışık (overlay) ağlar: Hücresel ağlar sürekli kesintisiz bağlantı ve kullanıcı hareketliliğini destekler yapıda olmalarına rağmen, WLAN'ler daha küçük alanlarda, trafik yoğunluğunun nispeten daha fazla olduğu mekânlarda kullanılırlar. Böylece hücresel/WLAN çakışık çalışmaya yol açarlar. WLAN-covered dediğimiz alan her iki teknolojinin mobil kullanıcılar için erişilir olduğu alanı tanımlar.

- Çoklu-servis (multi-services) trafik yükü: Farklı servisler farklı QoS gerekliliğindedir. Gerçek-zamanlı (real-time) servisler DiffServ ile paketler çeşitli paket sınıfları yaratmak için farklı olarak markalanırlar. Aynı sınıfa ait paketler DiffServ domeninin içinde, toplanır ve beraber iletilirler.

Genellikle ses trafiği gerçek zamanlı (real-time transmission) iletim gerektirir ve belli seviyede paket kaybını tolere edebilir. Aktif bir ses araması için iletim oranı kararlıdır, bandgenişliği gerekliliği değişimleri için de düşük toleransa sahip olur. Tersine veri trafiği, iletim oranı değişebilir ve buna veri tolerelidir ve gecikmeleri de tolere edebilir. Fakat güvenli iletim gerektirir. Bir dosyanın indirilmesi (download) için dosyanın boyutuna ve tahsis edilen bantgenişliğine bakılarak veri transfer zamanı (veri

call duration) bilinebilir. Bundan hareketle ortalama veri aramaları transfer zamanı belirlenen bir eşiğin altında olmalıdır. Ek olarak, yeni arama bloklama olasılığı ve handoff arama düşmelerinin sayısındaki kısıtlar da karşılanmalıdır.

Toplam bant genişliğini etkin bir şekilde kullanabilmek, paylaşabilmek için'de kısıtlı erişim şemaları sunulmuştur [Naghshineh ve Acompora, Agust 1996]. Sese veriden daha fazla öncelik verilerek bandgenişliğinin belli bir kısmı QoS sağlamak için işgal edilir. Kalan bantgenişliği de veriya ayrılır. Etkili kaynak kkullanımı için tüm ses trafiği tarafından kullanılmayan bandgenişliği giden aramalar için eşit olarak paylaşılır. Böylelikle ortalama veri transfer zamanı aşılmamış olur. Bu kısıtlı erişim şeması yüksek kullanım ve iyi QoS için iyi bir denge sağlamada etkilidir Şekil 2.5'de cellular/WLAN basit şeması görülmektedir.



Şekil 2.5 Hücresel Ağ / WLAN Basit Şeması

Literatürde heterojen ağlar için entegre WLAN/hücresel ağlar için mobilite paterni ve servis tipleri üzerinden CAC şeması sunulmuştur [Song vd., 2007]. Fakat çalışmada kaynak paylaşımı konusu incelenmemiştir. Xin vd. (2010), sözkonusu entegre yapıyı sadece tek bir servis tipi (ses) için incelemişlerdir. Ayrıca hücresel sistemin kullanıcı sayısını hesaplarken diğer hücrelerden gelecek eldeğiştirme aramalar $h_{c\text{-}c}$ çalışmadaki hesaplamayı kolaylaştırmak için hesaba alınmamıştır. Yalnızca yeni aramalar n_c ve WLAN'den gelebilecek eldeğiştirmeler $h_{w\text{-}c}$ hesaba alınmıştır. Gramakov ve Shevtsov (2008), hücresel haberleşme sisteminin etkinliğini artırmak için entegre çalışmanın sistemde ne gibi değişiklikleri getireceği üzerinde çalışmışlardır.

4G için birlikte-çalışma (interworking) şemaları iki bölümde incelenir:

1- Sıkı kuplaj mimari (Tight coupling architecture): WLAN, hücresel sisteme bir hücresel radyo erişim ağıymış gibi gözükür. Örneğin WLAN'in UMTS/GPRS çekirdek ağa bağlantısı SGSN ya da GGSN üzerindendir ve iki domen arasında gezen bir kullanıcı hücresel ağın hareketlilik yönetimi protokollerine bağlıdır.

   Dezavantajları:

   - Hücresel ağ içinde WLAN için bir arayüz gerekir bu da farklı operatör ve ticari sistem ürünleri için şu an için çözülmesi gereken büyük bir problemdir.
   - WLAN trafiği de hücresel ağ içinden geçeceği için cellular ağı sıkışıklığa zorlar.
   - WLAN hücresel ağ ile uyumlu protokole ihtiyaç duyar, bu da maliyet ve karmaşıklık olarak zor gözükür.

2- Gevşek kuplaj mimari (Loose Coupling architcture): Burada bir ağgeçidi (gateway) direk olarak WLAN'i internete bağlar. Yani hücresel çekirdek ağ üzeerinden WLAN bağlanmaz. Başlıca avantajı birbirlerinden bağımsız olmalarıdır. Fakat iki domen ayrıldığı için hareketlik sinyal işlenmesi daha uzun yol kat eder, daha fazla eldeğiştirme gecikmesine (handoff latency) yol açar.

Şu anda tümü IP- DiffServ (IP-farklılaştırılmış servis) yapısı heterogen ağlar için en çok üzerinde çalışılan ve benimsenen mimaridir.

İnternet QoS gerekliliğini göz önünde bulundurmadan "en iyi çaba" veri dağıtımı sağlar. Fakat çoklu-medya uygulamaları özellikle gerçek-zamanlı ses ve video uygulamaları uçtan-uca paket gecikmelerinde bazı kontroller gerektirir. Bugün internetin QoS kavramı iki grupta incelenir: Entegre sevisler ve farklılaştırılmış servisler.

Int-Serv dinamik kaynak kullanımını yoluyla QoS garantisi verirler. Uçtan-uca yol kurulur ve transmisyondan önce o yol boyunca kaynak rezervasyonu yapılır. RSVP (Resource Reservation Protocol) uç-düğüm ve ağ düğümleri arasında iyi derecede tek tek veri akışı için QoS garantisi sağlamak için kullanılır. IntServ 1995'te IETF [Severance, 1997] çalışma grubu tarafından tanımlanmıştır. Fakat son zamanlarda ilgi daha kabaca bir QoS sağlamaya yönelik DiffServ'e kaymıştır. DifServ'in avantajı dağıtılırlığı (scalability) sağlamasıdır.

2.5 Kablosuz Ağ Sistemlerinde QoS

Kablolu ya da kablosuz ağlar artan ihtiyaçlarla birlikte çokluservisi (multiservice) desteklemektedir. Ses, veri, video gibi farklı servislerin entegre edilebilmesi için etkili kaynak yönetim şemaları aynı zamanda da her bir servis sınıfına ait kullanıcılara servis kalitesinin QoS'in garanti edilmesi gerekmektedir [Maniatis vd., 2002], [Bozkurt vd., 2009]. Kablosuz ağda; ses servisi için maksimum paket gecikmesi, veri servisleri için hatasız iletim (error-free transmission) garanti edilmeli, video servisleri için ise kesintisiz bir görüntü etkisi oluşturmak için maksimum gecikme süresi aşılmamalıdır. Kablosuz ağlardaki hareketlilik (mobility), eldeğiştirmeler (handoffs) ve sınırlı bantgenişliği gibi problemler QoS sağlama görevinin önemli zorluklarındandır.

Servis kalitesi, üç farklı seviyede incelenir.

2.5.1 Paket seviyesi (Packet level)

Paket seviyesinde, kullanıcılara, paket düşme olasılığı (dropping probability), maksimum paket gecikmesi ve maksimum gecikme farkı (jitter) gibi QoS paramereleri garanti edilmelidir. Tablo 2.1'de IMT-2000 Taşıyıcı servis gereklilikleri özetlenmiştir.

2.5.2 Arama seviyesi (Call level)

Arama seviyesinde, kullanıcılar hem yeni aramaların bloklanma olasılığı (new call blocking probability) hem de eldeğiştirme aramalarının bloklanma (düşürülme) olasılığının (handoff dropping probability) düşük değerlerde olmasını isterler. Eldeğiştirme aramaları, aramanın tam ortasında, kullanıcı bitişik hücreye doğru yer değiştirirken, kaynak yetersizliğinden ya da kaynakların yeterince etkin yönetilememesinden dolayı kesilebilir. Eldeğiştirme aramasının düşmesi, yeni bir aramanın bloklanmasından daha az istrenen bir durumdur. Bu nedenle, yeni aramaların bloklanma olsılığının artması pahasına da olsa, eldeğiştirme arama düşme olasılığının azalması önemlidir.

Tablo 2.1 IMT-2000 Taşıyıcı Servis Gereklilikleri

	Gerçek-zamanlı (Sabit gecikme)	
Operasyon çevresi	**Tepe bit oranı**	**BER/Mak.transfer gecikmesi**
Kırsal alan (<250Km/saat)	En az 144 Kbps (tercihen 384Kbps)	Gecikme 20-300ms BER $10^{-3}/10^{-7}$
Şehir yakınları (<150Km/saat)	En az 384 Kbps (tercihen 512 Kbps)	Gecikme 20-300ms BER $10^{-3}/10^{-7}$
Kapalı alan (max.10Km/saat)	2Mbps	Gecikme 20-300ms BER $10^{-3}/10^{-7}$

2.5.3 Sınıf seviyesi (Class level)

Sınıf-tabanlı QoS, band genişliğinin çeşitli sınıflar tarafından nasıl paylaşıldığı/kullanıldığı ile ilgilidir. En genel band genişliği paylaşım teknikleri tamamen-paylaşım (**CS,** Complete Sharing) ve tamamen-bölüşümlü (**CP,** Complete-

Partitioning) ve Kısıtlı Erişim (**RA**, Restricted Access)'dir [Kraimche ve Schwartz, 1984]. CS'de herhangi bir sınıf yeterli boş kapasite olduğu sürece bantgenişliğinin tamamını kullanabilir. CP'de ise, band genişliği gelen arama sınıfları arasında önceden bölümlenir. Kaynak yönetiminde kullanılan en etkin yöntemlerden biri Arama İzin Kontrol şemalarıdır. CAC hem maksimum kullanımı (utility efficiency) hem de QoS'i sağlamak için çeşitli araştırmalarla çalışılmıştır [Dziong ve Mason, 1996], [Hyman vd.,1993], [Fang ve Zhang, 2002]. Şu an 3G hücresel sistemler çokluservis desteği ile 2 Mbit/s veri hızına ve daha iyi bantgenişliği kullanımı etkinliğine sahiptir. Diğer taraftan WLAN'ler daha düşük fiyatta daha yüksek veri iletim hızı sağlarlar. Örneğin bir WLAN standardı olan IEEE 802.11g lisans-muaf 2.4GHz bandında maksimum 54Mbit/s veri hızı sağlar. Buna karşın WLAN 'ler yalnızca küçük bir alanı kapsarlar. Hücresel ve WLAN kablosuz ağlar, mobilite desteği, veri hızları ve kullanım maliyetleri ile birbirlerinin tamamlayıcısıdırlar. Bu tip farklı ağ sistemlerinin birlikte çalışması bir sonraki kuşak (4G) kablosuz ağlar için en etkili yol olarak gözükmektedir. CAC şemalarının 4G ile ortaya çıkan; ağlar arası eldeğiştirme aramaları, farklı QoS gerekliliklerini önceleme, paket-seviyesi değerlendirmeler v.b gibi yeni konuları da kaynak yönetiminde göz önüne almasına ihtiyaç vardır.

2.6 4G'de QoS

Zamana (timeliness) duyarlı uygulamalara gerçek-zamanlı uygulamalar (real-time applications) denir. Örneğin telefon konuşması gecikmesiz olmalıdır. Aynı şekilde video uygulamaları da zamana duyarlıdır. Bir robot koluna bir komut dizisi göndermek istesek yine gecikmesiz ve paket kayıpsız olmalıdır. Gerçek -zamanlı olmayan uygulamalarda (non-real time applications) ise uçtan-uca (end-to-end) tekrar iletim (retransmission) strateji kullanılır ve veri doğru bir şekilde gelir. En iyi çaba dedigimiz "best effort" modeli network'ün (uç kullanıcıların değil) veriyı iletip dağıtmak için elinden geleni yapması ama garanti etmemesidir. "Best effort"tan farklı olarak network bazı verilere (paketlere) diğerlerinden farklı davranır. "Best effort"ta ise böyle bir durum söz konusu değildir. Burada bir servisin farklı seviyelerini sağlayabilen network'ün servis kalitesi (QoS) sağladığı söylenir.

Gerçek-zamanlı ses servisleri: Örneğin ses (voice) ağ içinden kaynaklanan bir nedenden dolayı kaybolduğundan ya da düştüğünden (dropped) dolayı ya da tekrar iletildiğinden dolayı örneklendiği 125 μs aralığında gecikmenin dışında bir gecikmeyle gelirse, kullanımı yararsızdır. Gerçek-zamanlı uygulamalarda 'geç olma' yararsızdır.

Sorun şudur: Tüm paketler 125 μs'nin içinde gelse bile her bir paket router'larda farklı yollar izleyebileceği için gecikmeler zamanla-değişkendir. Alıcıda bunu hissetmemek için bir miktar paket saklanır (stored) ve doğru tekrar-çalma (play-back) zamanında çalınır. "Play-back point" dediğimiz noktadan daha geç gelirse playback tamponu (buffer) kurur.

Play-back operasyonunda önemli olan ne kadar geç geldiği değildir. Genellikle bu aralık 300 ms olarak biçilir. Paketlerin %97'si demek kendi gecikmelerinin sınırlarının içinde her 100 paketten 3'ünün kullanılamayacak kadar geç geldiğidir. Eğer bu süreyi 200 ms'ye çekersek, tüm paketlerin zamanında geldiğini söyleriz.

Gerçek-zamanlı uygulamalarda dikkat edilmesi gerekenler:

a) Kayıplar (Packet Loss): Uygulamanın kayıpları ne kadar tolere edip edemeyeceklerine bakılır. Ses (Audio); Gerçek-zamanlı uygulamadır ve "kayıp toleranslı"dır. Çünkü bir ses paketinin kaybı algılanan kalitede pek fazla bir düşüş etkisi hissettirmez. Robot uygulamaları. "intolerant"tır. Çünkü tek bir paket kaybı örneğin o komutu çalıştırmaz.

b) Gecikme (Delay): Gerçek-zamanlı ses uyugulaması gecikmeye de tolerelidir. Yani hem gecikmeye hem de paket kaybına tolerelidir. Burada sorun şudur: Eğer 300 ms gecikmeylegeliyorsa "playback point"i 300 ms'ye 100 ms gecikmeyle geliyorsa 100 ms'ye kaydırırız. Bunu ayarlama daha doğrusu kaydırma işlemi ses uygulaması için kullanıcıya hissettirmeden kelimeler arasındaki boşluk ve sessizliği kısaltarak yapılır. Bu durumda "playback point" ayarlama oldukça kolaydır. Bu şekilde kendi "playback point" denir. lerini ayarlayabilen uygulamalara gecikme-adaptif 'delay-adaptive' denir. Diğer sınıf adaptif uygulamalara da 'rate adaptive' denir. Örneğin Video

kodlama algoritması, bant genişliği ile kalite arasında bağlantı kurar. Bant genişliği büyüdükçe biz de buna bağlı olarak kodlama (coding parameters) parametrelerini değiştiririz.

Örneğin ses, video gecikmeye duyarlıdırlar, öte yandan veri servisleri için gecikme değil paket kaybı önemlidir daha çok. Bu yüzden çoklu-servisler komplementer çalışmadan faydalanabilirler. Hücresel sistemler kesin QoS sağlayan yapılarıyla gerçek-zamanlı servisler için etkinken, WLAN'ler elastik veri servisleri için yani ayrılan bant genişliğine göre tamamlanma, aktarılma süreleri değişebilen ve buna uyum gösterebilen veri servisleri yani gerçek-zamanlı olmayan servisler için etkindirler. WLAN'lerde ses iletimi için bant genişliği ne kadar artırılırsa artırılsın tamamlanma süresi değişmez.

2.7 Arama seviyesi QoS çalışmaları

Daha önce yukarıda da belirtildiği gibi arama seviyesinde, kullanıcılar yeni aramaların bloklanma ve eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılıklarıyla ilgilidirler ve genellikle bu olasılıkların küçük olmalarını isterler. Çok çeşitli kanal tahsis ve eldeğiştirme arama şemaları arama-seviyesi QoS sağlamak için önerilmiştir. Hücresel sistemde yeni aramaların bloklanma olasılıkları hem kanal tahsis şemasının etkinliğine hem de gelen arama paternine bağlıdır. 'Direk tekrar' yaklaşımında [Verdone ve Zanella, 2007], birden fazla baz istasyonunun kapsama alanına düşen ve toplam kapsama alanının %30'u ile %45'i [Everitt, 1990] arasında bir bölgeyi kapsayan geniş alanlarda verilen bir hücre için kabul edilemeyen bir arama diğer hücre için isteğini tekrarlar ve aramanın düşürülme olasılığı azalır. Böyle bir şema bu geniş alanda bulunan kullanıcılar için kabul edilme reddedilme oranları bakımından avantaj konusu olacağından, kullanıcıları bulundakları kapsama alanı içinde bloklama olasılığı bakımından eşitlemek için ek karmaşık düzenlemeler getirilmiştir [Lagrange ve Jabbari, 1998]. Orlik ve Rappaport (July 1998), tekrar kullanım bölümlenmesi ve direk tekrar yaklaşımlarını beraber kullanarak iki şemanın avantajlarından yararlanmışlardır. Sonuçlarda, tekrar kullanım bölümlemesinin iç bölge aramalarında arama seviyesi QoS'ini iyileştirirken, direk tekrar yaklaşımının genel hücre çevresinde aramaların

düşürülme oranını iyileştirdiği görülmüştür. Yeni aramaların bloklanma olasılığını iyileştirici bir diğer önemli çalışma bitişik hücreler arasında merkezi bir konrtolör gerekliliği olmadan kanal paylaşım şemasının geliştirildiği mekanizmalardır [Li vd., 1998], [Li vd., 1999]. Dağıtılmış (distributed) şemaların tersine, Li vd. (1998), Li vd. (1999)'nın önerdikleri kanal paylaşım şemalarının uygulanması oldukça basittir. Kablosuz hücresel sistemlerdeki eldeğiştirme aramalarının oranın iyileştirilmesi için bir 'kanal rezervasyon' şeması önerilmiştir [Ramjee vd., 1997]. Rezervasyon şeması yeni aramaları yalnızca hücresel sistem içersindeki aktif aramaların sayısı hücredeki önceden belirlenen bir eşik kanal sayısından az olduğu zaman kabul eder. Öte yandan eldeğiştirme aramaları boş kanal olduğu müddetçe sisteme her zaman kabul edilir. Kanal rezervasyon yaklaşımı yeni aramaların bloklanma olasılığını artırmak pahasına eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılığını azaltarak iyileştirir. Bitişik hücrelerde sınırda üst üste çakışan bölgeleri kullanarak eldeğiştirme aramalarının kuyruğa alınmasını Hong ve Rappaport (1986) önermiştir. SIR (Signal-to-interference ratio) tabanlı bir başka eldeğiştirme aramalarının kuyruğa alınması önerisini Tekinay ve Jabbari (1992) çalışmışlardır. Bu şemada düşük SIR değerine sahip bir arama, yüksek SIR değerine sahip bir aramadan daha öncelilki olarak sisteme kabul edilir.

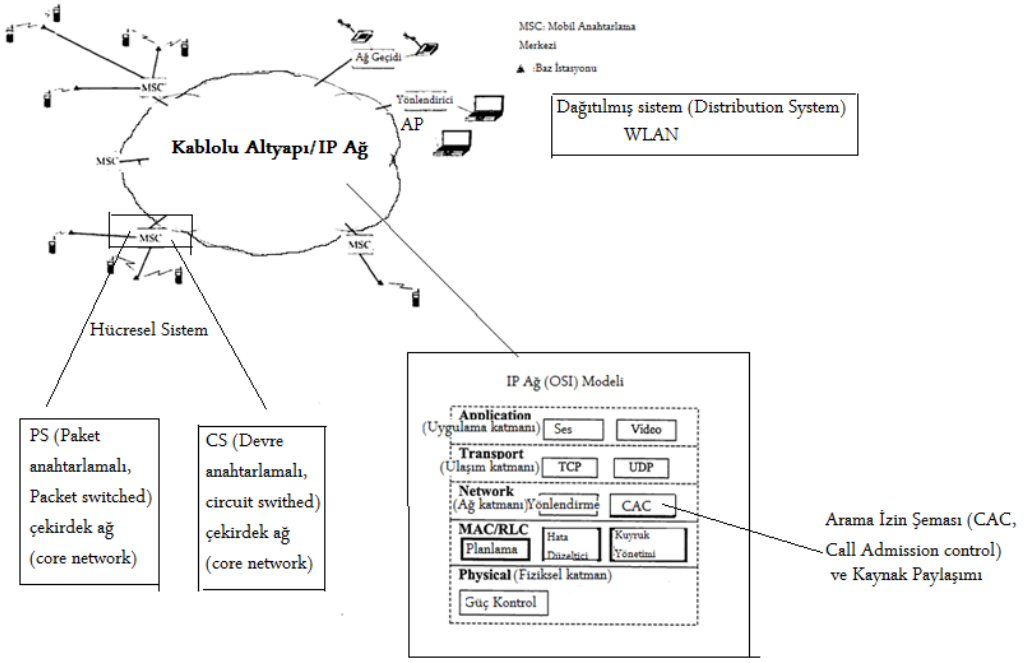
2.7.1 Arama izin şemaları

Hücresel ağ ve WLAN IP-tabanlı sistem mimarisinde Şekil 2.5'de görüldüğü gibi birer alt ağ sistemi olarak çekirdek (core) sisteme bağlanırlar.

OSI (Open Systems Interconnection) bilgisayar sistemlerinin birbirleriyle uyumluluğu için (compatibility) 1980'lerin başlarında geliştirilen bir referans modelidir [Finneran, 2007]. ISO (International Organization for Standardization) tarafından geliştirilen OSI referans modeli uçtan-uca (end-to-end) ağ uyumluluğunu sağlamaya yönelik olarak katmanlı model yapısı şeklinde geliştirilmiştir.

OSI her biri farklı görevleri (task) gerçekleştirmek üzere yedi katmandan oluşur. OSI bir protokol değildir; daha ziyade protokollerin sağladığı fonksiyonların

tanımınıdır. Model her katmanda fonksiyonların ne yapması gerektiğini tanımlar, nasıl yapılması gerektiğini ise o katmana ait protokol tanımlar. Kısıtlı ağ kaynakları QoS başarımı için en önemli problemdir. Kaynak yönetimi ile bağlı bir izin şeması, limitli bandgenişliğinde hem maksimum kullanımı sağlayacak hem de QoS gerekliliklerini karşılayacaktır. Arama izin şemaları OSI referans modelinde üçüncü katman olan Ağ Katmanında (Network Layer) yer alırlar. Litaratürde, CAC oldukça geniş bir şekilde çalışılmış ve birçok CAC şeması önerilmiştir [Naghshineh ve Schwartz, 1996], [Ma vd., 2002], [Kalikivayi vd., 2008], [Subramaniam vd., 2005]. Tez çalışmasında arama seviyesinde QoS, IP ağlarda ağ katmanı bölümünde önerilen arama izin şemaları yolu ile çalışılmıştır. Litaratürdeki çalışmalara geçmeden önce ağ katmanı ve OSI referans modeli aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.5 Hücresel ağ ve WLAN IP-tabanlı sistem mimarisi

Ağ katmanı ve OSI referans modeli

Modelin yapısını anlamak için Şekil 2.6'da görülen ağ katmanını üstünde ve altında yer alan diğer katmanları en alt katman olan Fiziksel katmandan başlayarak açıklayalım:

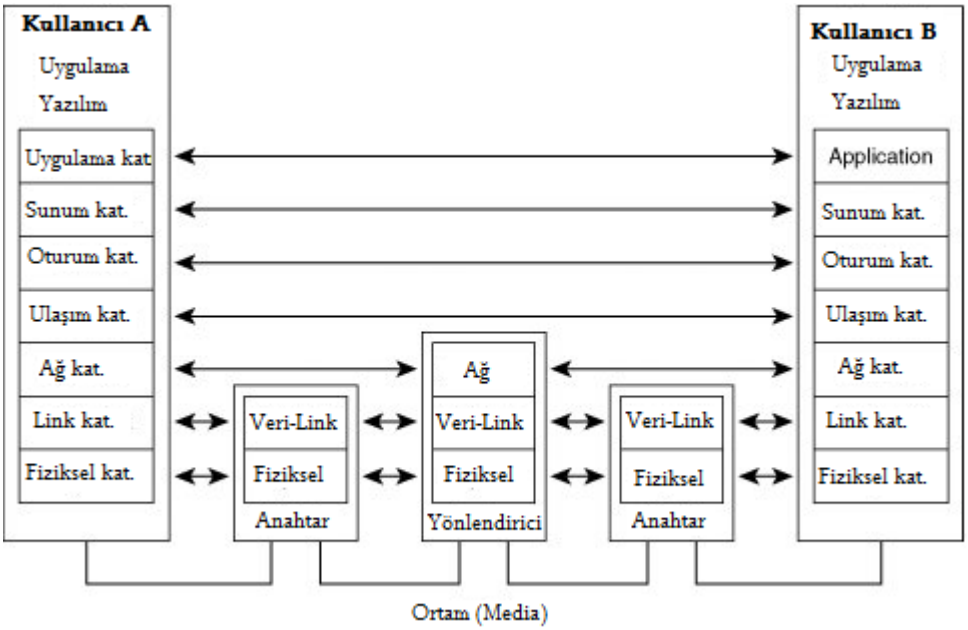
Fiziksel Katman (Physical Layer) : Fiziksel katman Katman 1 olarak adlandırılır. Fiziksel ortamdan (modem, özel hat (private line), LAN kablosu vb.) geçerken sinyalin bit serilerine kodlanmasını (signal encoding) sağlar. Burada kodlama, elektriksel, optik ya da radyo yolu ile olabilir. Kablolu bir LAN'da fiziksel araç (medium) CAT 5 ya da CAT 6 dediğimiz kablodur. Bu katmana ait protokol örneğin 10 Base-T ya da 100 Base-T olarak elektriksel sinyallerin kablo üzerinden 1 ve 0 sayısal bitlerinin nasıl iletileceğini tanımlayan protokoller olabilirler. WLAN 'de ise Radyo Link Protokolü (Radio Link Protocol, RLP) Katman 1'in protokolü olabilir.

Link Katman (Link Layer) : Link katmanı veriyi çerçeve (frame) dediğimiz elementler şeklinde formatlar ve üzerindeki iletim (transmission) katmanına iletir. Örneğin Ethernet Protokolü OSI modelinde Katman 1 ve Katman 2'nin tanımını sağlar. Katman 2, çerçeve gecikme arabirimi (frame relay interface) içerir ve noktodan-noktaya (Point-to-Point, PPP) protokolünü de destekler. Ehternet, WLAN'de Wi-Fi Protokolü ve PPP protokolü link katmanında ayrıca hataları dedekte edecek mekanizmaya da sahiptirler fakat hata bulunduğunda o çerçeve basit olarak atılır, uzaklaştırırlır.

Ağ Katmanı (Network Layer) : Ağ katmanında başlıca X.25 paket ağ arabirim protokolü ya da IP protokolü tanımlıdır. IP bir paketi yönlendiriciden yönlendiriciye (router-to-router) hedefine doğru bir ağ serisi yolu ile taşır. Yani yönlendiriciler (routers) bu katta bulunurlar. Ağ katmanı bağlantısız bir haberleşme (connectionless communication) yürütür. Örneğin IP protokolü bağlantısız iletişim yapısına sahiptir; yani bir çerçeve göndericiden alıcıya alındı bilgisine gerek duyulmadan gönderilir. Bağlantı-orjinli (connection-oriented) protokoller daha üst katmanlardadır. IP adresleri her bir bağlantı ucuna ağda nerede olduklarını tanımlamak için verilir. Ağ geçitleri ya da yönlendiriciler her bir ağı birbirinden alt ağlar oluşturmak üzere ayırıp paketleri

yönlendirirler. Ağ katmanı Ulaşım katmanından gelen isteklere cevap verir ve Link katmanına da servis istekleri gönderir.

Ulaşım Katmanı (Transport Layer) : Ulaşım katmanının görevi tüm ağ sistemi boyunca paketlerin doğru sırada iletimini sağlamak, uçtan-uca hata denetimini gerçekleştirmek ve düzeltme (correction) sağlamaktır. IP protokolü ise ağ katmanında en iyi çaba (best effort) temelinde çalışır. Yani IP protokolünde paket kaybına müsaade edilebilir. Ulaşım katmanı protokolü örneğin TCP'de (Transmission Control Protocol) ise hatalar dedekte edilip iyileştirilir. TCP/IP protokolü ses uygulaması için hata düzeltimine gerek olmayan UDP (Unreliable transport) protokolünü ses paketlerini taşımada kullanır.



Şekil 2.6 OSI Referans Modeli

Oturum Katmanı (Session Layer) : Oturum katmanı son-uc uygulamaları arasında bağlantı başlatımı, sona erdirimi ya da oturum sürdürümü gibi görevleri tanımlar. X.225, ISO 8327 gibi protokoller bu katman protokolleridir. Bağlantı kesildiğinde, bu katman protokolleri bağlantıyı yeniden kurmayı dener. Uzun bir periyot

boyunca bir bağlantı kullanılmamışsa, bu katman protokolü bağlantıyı sonlandırabilir ve yeniden açabilir. Diğer Oturum katmanı protokolleri arasında Alan Bilgi Protokolü (Zone Information Protocol, ZIP), AppleTalk Protokolü, Oturum Kontrol Protokol (Session Control Protocol) örnek verilebilir.

Sunum Katmanı (Presentation Layer) : Sunum katmanı, kulanıcıya ya da uygulamaya kullanılmak üzere bilginin formatlanmış şeklini sunar. Katman 6'nın (Sunum katmanı) altındaki katmanlarda veri (data) bitler şeklindedir. Sunum katmanı en basit ASCII y ada EBCDIC iletim kodlarına bu bitlerini çevirir. Sunum formatı veri için Web uygulamaları için renk ve grafik bilgilerini şifreleyen (encription) HTML (Hypertext Mark-up Language) formatıdır.

Uygulama Katmanı (Application Layer) : Uygulama olarak bir dizi program kodunu işleyen, çalıştıran yazılımlar servislere erişebilmek için uygulama protokollerinden faydalanırlar. Bu protokollerden örneğin dosya transferi (file transfer), elektronik posta değişimi (Electronic Mail Exchange) ve ağ yönetimi (Network Management) gibi farklı iletişim gerekliliklerini adreslerler. Uygulama katmanı protokolleri olarak uzaktan erişim (Remote Login) için Telnet, dosya transferi için FTP (File Transfer Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol), elektronik post için SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), servis destekleri için DNS (Domain Name System), RARP (Reserve Address Resolution Protocol) örnek verilebilir.

Perez-Cruz vd. (1999) zamanla değişken trafik dağılımı altında handoff aramalara reserve edilen kanal sayısının değişkenliğine bağlı olarak yeni bir kesirli kanal rezervasyon şeması önermişlerdir. Panoutsopoulos vd. (2000) kesirli koruyucu şemanın optimizasyonunu incelemiştir. Koruyucu kanal sayısı, kuyruk uzunluğu, kuyruk süresi zaman aşımı gibi farklı önceliklerle yeni aramaları tampon bölgeye (buffer) alan kaynak yönetim şeması önerilmiştir [Markoulidakis vd., 2000].

Tek boyutlu Markov zinciri modelleri sistem performansını değerlendirmede kullanılmıştır [Ramjee vd., 1997], [Fang ve Zhang, 2002], [Guerin, 1988]. Farklı servis kullanıcılarının birbirinden bağımsız Poisson dağılımlı olarak sisteme geldikleri, kanal işgal sürelerinin (channel occupancy times) eşit ortalama değerlerle üssel

(exponentially) dağılımlı olduğu ve eşit kanal kapasitelerine ihtiyaçları olduğu hesaplamalardaki kolaylık bakımından çalışmalarda geniş olarak kabul alınmıştır. Fakat farklı öncelikleri (örneğin yeni ve eldeğiştirme) olan aramaların ortalama kanal işgal süreleri ve dağılımları farklı olabileceğinden yukarıdaki kabuller gerçek duruma uygun olmayabilir [Fang 1999]

Gersht ve Lee (1990), Roberts (1985) tarafından servis oranları (rates) farklı olduğunda daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için önerilen yaklaşıklığı modifiye ederek tekrarlamalı (iterative) bir algoritma önermişlerdir. Fakat bu algoritmanın sonuçları yalnızca uygun ilk değerler seçildiğinde kesinlik taşımaktadır. Ek olarak, farklı öncelikli aramaların ortalama işgal sürelerinin eşit ve aynı dağılımda olmaması varolan tek boyutlu Markov zinciri modeline dayanan performans değerlendirmesiyle bulunan sonuçların hatalı olmasına yol açar [Yavuz, 2006].

Çok boyutlu Markov zinciri modelleri yoluyla tam (exact, direct) analiz metodları CAC şemaları değerlendirmede tek kesin yol olarak gözükür. Rappaport (1990) farklı öncelikleri olan aramalar için bloklama olasılığını çok boyutlu model ile hesaplamıştır. Çok boyutlu Markov zinciri modelleri kesin ve tam sonuçlar elde etme olanağı verirken hesaplama maliyeti (computational cost) Markov zincirinin boyutu büyüdükçe artar. Bu durumda hem yüksek kesinlik ve değerlikli hem de daha düşük maliyetli çözümlere ihtiyaç duyulur [Yavuz ve Leung, 2007].

Tüm yaklaşımlarda amaç, eldeğiştirme aramalarının bloklama olasılığının düşürülmesine karşın yeni aramaların bloklanma olasılıklarının artışına optimum bir çözüm getirmektir.

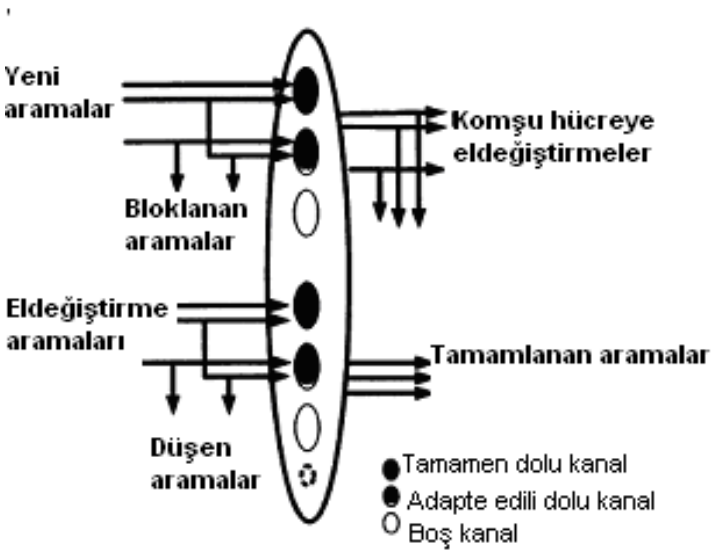
Kwon vd. (1990) sistem QoS kısıtlarını karşılamak için ölçüm-tabanlı bir CAC şeması önermişlerdir. Şema hücresel sistemin durumunu (işgal edilen kanal sayısı) dağıtılmış bir biçimde (distributed) ölçer ve aramalara izinde gözlemlenen kayıda yansıtır. Burada, CAC hücresel sistemin önceden belirlenen bir değerdeki aramalarda izin verilebilecek QoS düşümünü sürdürür. Fakat dağıtılmış kontrol yaklaşımı dolayısı ile bu şemanın haberleşme yükü aşırıdır. Yalnızca tek trafik tipteki servisi destekleyen CAC şemalarını [Hong ve Rapport, (1986)], [Kwon vd., 1990]. Chen vd. (2002) kablosuz hücresel ağlarda çoklu-servis için QoS yaklaşımıyla geliştirmişlerdir.

Önerdikleri kanal rezervasyon tahmin edici görevini yerine getiren ve SNR gibi fiziksel ölçüm parametresi ve trafik profili üzerinden gibi gelen arama isteklerini yaklaşık olarak tahmin eden RRE (Resource Reservation Estimator) mekanizmasıdır. Yapılan yaklaşık tahmine göre daha sonra RRE öncelikli aramalar (ki bu şemada eldeğiştirme aramalarıdır) için kaynak rezervasyonu yapar. Önerilen şema eldeğiştirme aramalarına öncelik verip bu aramaların düşürülme olasılığını iyileştirmesine karşın yine haberleşme yükünün aşırılığı nedeni ile kablosuz hücresel ağlar için pratik uygulamaya sahip değildir [Mohammad vd., 2002]. Yalnızca eldeğiştirme aramaları için tahmini kanal rezervasyon tabanlı bir CAC şemasını Choi ve Shin (2004) önermişlerdir. Yazarlar her bir hücre için gözlenen toplam eldeğiştirme durumu üzerinden kullanıcıların mobilite değerini tahmin eden bir metod geliştirmişlerdir. Ayrıca bir başka metod da mobil kullanıcıların hareket yönü ve hücre içersindeki eldeğiştirme zamanlarını istatistiksel olarak belirlemek için kullanılır. Her bir hücre için, eldeğiştirme aramaları için rezerve edilen bandgenişliği hesaplanır. Yeni ya da eldeğiştirme aramasının gelmesi üzerine, izin şeması hem bu hesaplamaları kullanan hem de komşu hücreler için mümkün olan bandgenilşiğini hesaplar. Bulunulan ve komşu hücrelerde eğer yeteri kadar bandgenişliği varsa arama kabul edilir. Şema pratikte kullanıma uygun olduğu halde düşük bandgenişliği kullanımına da yol açar.

Deniz ve Mohamed (2003), iki hücreden oluşan basit bir hücresel ağ için çok sayıda sınıfın olduğu bir analitik model geliştirmiştir. Bu tür basit ve küçük sistemler için dahi hesaplama açısından, hesaplaların kolaylığı açısından durum-uzayı patlama problemi yüzünden uygun değildir. Fakat yazarlar çalışmada, sistemin durumlarını birbirinden dekuple eden yaklaşık analiz geliştirip, kararlı durum (steady state) dağılımının değerlendirmek için iterativ bir algoritma önermişlerdir. Bu tip bir yaklaşım üzere olan bir CAC şeması haberleşme yükü, yoğunluğu getirmez ama önerilen formülasyon ve yinelemeli algortimanın pratikteki büyüklüğe sahip ağ sistemleri için analitik olarak izlenebilirliğinin düşük olması da açıktır. Şekil 2.20'den de görüldüğü gibi CAC kontrol şemaları yeni ya da eldeğiştirme aramalarına sisteme giriş için izin verirken kısıtlı kaynakları bu aramalara Kanal Tahsis ya da Kanal Rezervasyon yolu ile tahsis ederler.

2.7.2 Kanal tahsis şemaları

Yeni aramaların bloklanma ve eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılığı kanal tahsis şemalarının etkinliğine ve gelen arama paternine bağlıdır. Şekil 2.7'de aramaların kanal işgal durum diyagramı gösterilmiştir. En basit ve en çok kullanılan kanal tahsis şeması Sabit Kanal Tahsisi'dir (**FCA**, Fixed Channel Allocaion). FCA'da, her bir hücreye (cell), aynı sayıda kanal tahsis edilir. Yeni ya da eldeğiştirme aramaları eğer boş kanal bulurlarsa kullanırlar aksi halde reddedilirler (blocked or droopped). FCA şeması yalnızca üniform bir yük altında iyi bir performans gösterir [Katzela ve Naghshineh, 1996]. Gerçekte, hücresel sistemlerdeki trafiğin üniform olması durumu çok nadirdir.



Şekil 2.7 Kanal İşgal Durum Diyagramı

Trafik varyasyonları altında bloklanma olasılığını düşürmek için kanalları dinamik olarak tahsis eden dinamik kanal tahsis şeması (**DCA**, Dynamic channel allocation) uygulanmıştır [Anand vd., 2003]. DCA'da, kanallar ortak (merkezi) bir havuzda tutulur ve yeni gelen aramalar için, eğer minimum tekrar kullanma uzaklık kısıtını (reuse distance) ihlal etmiyorsa, kanal havuzdan seçilir. Boş olan kanallar, eğer birden fazlaysa, maliyet şartını (cost criterion) minimize eden kanal seçilir. Arama tamamlanınca kanal havuza iade edilir. DCA şemalarındaki ayrım kullanılan maliyet

kriterlerinden kaynaklanır [Choi vd., 2006], [Kamel vd., 2009]. Çünkü bu dinamik şemalar, kanalları tahsis ederken her kanalın minimum tekrar kullanım uzaklığında olmasını sağlayamaz ve maksimum verimliliği garanti edemezler. Çözüm için maliyet şartının formulasyonu tekrar düzenlenir. Bu ise küresel koordinasyon ölçeğinde sisteme ek çalışma ve uygulama yükü getirir. DCA şemalarının üniform olmayan koşullarda iyi işlerliğine rağmen, ağır trafik (yük) şartlarında performansının yüksek olmadığı gözlemlenmiştir. DCA şemalarının karmaşık yapılarından kaçınmak için bazı çalışmalar FCA şemaları üzerinden ağ kullanımını etkin kılmak için 'kanal borçlanma' yaklaşımı önermişlerdir. Kanal borçlanma şemalarında kanallar tıpkı FCA şemalarında olduğu gibi hücrelere tahsis edilir. Fakat FCA şemalarının aksine, yeni ya da eldeğiştirme aramaları tüm kanalları işgal edilmiş bulursa, o hücreye komşu hücreden ödünç kullanılmayan kanal tahsis edilmesine izin verilir. DCA şemalarının dezavantajı küresel koordinasyon gerektiren kanal kilitleme [Yang ve Chong, 2004] ya da dinamik güç kontrolüdür [Mandal ve Saha, 2005], [Verdone vd., 2005].

Hibrit kanal tahsis şeması (**HCA**, Hybrid Channel Allocation) hem DCA hem de FCA'nın avantajlarını kullanmak için önerilmiştir [Salah-Eldeen vd., 2007]. HCA mevcut kanalları, FCA şemasında olduğu gibi kalıcı şekilde hücrelere atanan kanallar ve DCA şemasında olduğu gibi arama-tabanlı atanan kanallar olmak üzere ikiye ayırır. HCA şemaları merkezi havuzdan yalnızca eldeğiştirme aramaları için kanal tahsis eder. Her bir gruptaki kanal sayısının oranı HCA şemalarının hafif ya da tam yük altındaki performansını belirler ve HCA eldeğiştirme aramlarına kanal tahsis ederken yine merkezi kontrolü gerektirir.

Chen ve Fang (2003) sistem eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılığını belirlenen bir QoS üst sınırından aşağıda tutacak ve bandgenişliği rezervasyon eşiklerini dinamik olarak ayarlayarak farklı trafik sınıflarının önceliklerini sürdürecek iki şartı sağlayacak dinamik çoklu-eşik rezervasyon şeması önermişlerdir. Huang vd. (2004) ise limitli ve değişken bandgenişliği koşullarında multimedya için QoS sağlayacak bir model geliştirmişlerdir. Farklı eldeğiştirme düşürülme gerekliliklerine sahip üç servis sınıfından oluşan servis modeli önerilmiştir. Uygun arama izin şema ve dinamik kaynak tahsis şeması geliştirilerek gerçek-zamanlı kullanıcılar için adaptif şekilde kaynak tahsisi sağlanmıştır. Ayrıca multimedya uygulamalarının oran-adaptif özelliği

kullanılarak kaynak kullanım etkinliği artırılmıştır. Performans analizi gerçek-zamanlı uygulamalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Gerçek zamanlı-olmayan uygulamalara çalışmanın benzetim bölümünde yer verilmiştir.

Haung vd. (2000) izin eşik sınırlarının (adaptif olarak değil) dinamik olarak hareket edebilirliği teorisi üzerinden bir analitik model geliştirmiştir. Şema ses ve veri trafiği için ayrılacak kanal sayısını dinamik olarak ayarlar ve veri tarfiği için bir buffer bulundurur. Şema ile hem gerekli QoS üst sınır değerlerinin altında kalınırken hem de bandgenişliği etkin şekilde kullanılır. Buradaki limitasyon şemanın sınıf ayırımına gitmesine rağmen yeni ve eldeğiştirme aramaları arasında sisteme kabul etme ve öncelikler açısından bir ayırım yapmamasıdır. Dolayısı ile yeni ve ledeğiştirme aramalarının servis performansları ayrı ayrı incelenemez. Li vd. (2003) dinamik bölümleme DP (dynamic partition) ve iki-eşikli bandgenişliği rezervasyon DTBR (dual-threshol bandwidth reservation) şemaları arasında sistem performans karşılaştırması üzerine çalışmıştır. Çalışmada her iki şemanın uygun kontrol parametrelerinin seçimi ile iyi derecede bir sistem performansı başardıkları gösterilmiştir. İki şema arasındaki temel farklılığın DP şemasının DTBR'ye göre daha düşük kanal kullanım etkinliği pahasına hedeflenen QoS değerlerini daha kolay sağlamasından kaynaklandığı gösterilmiştir. Haung vd. (2000) çalışmasıyla karşılaştırılınca, eldeğiştirme ses aramaları [Li vd., 2003]'de yeni ses aramalarından ayrılmış olmasına rağmen veri için böyle bir ayrım yine gözetilmeyip eksik bırakılmıştır. Mobil hücresel sistemlerde sistem tüm kullanıcılara iyi kalite bir QoS sağlamak için yeterli kaynağa sahip olmadığından daha yüksek önelikli uygulamaları talep eden kullanıcılar için kaynak tahsisinde mutlaka servis ayrımına (service differentation) gidilmelidir.

Boşaltmalı öncelik PP (preemptive priority) ile dinamik bölümleme şeması DPPP (dynamic partition with preemptive priority) çoklu-servis kablosuz hücresel ağlar için önerilmiştir [Li vd., 2003]. Hesaplama karmaşıklığı, işlem gecikmesi ve dolayısı ile yüksek CPU işlem maliyetine sahip olan [Chen ve Fang, 2003] ve [Huang vd., 2004]'deki şemalarla karşılaştırıldığında DPPP şeması bandgenişliği tahsisinin değişen yüke göre adaptif olmadığı ve böylelikle hesaplama kompleksliği taşıyamayan [Haung vd., 2000] ve [Li ve Alpha, 2000]'deki DP şemalara daha yakındır. [Tang ve Li, 2004]'de kullanılan PP mekanizmasında yalnızca eldeğiştirme trafiği (hem ses

eledeğiştirme aramaları hem de veri eldeğiştirme aramaları) paylaşılan bölgeyi kullanabilirler. Ayrıca yeni ses aramaları da bu bölgeyi kullanabilir [Tang ve Li, 2005], [Tang ve Li, 2007]. Yeni veri aramalarına ortak bölgede izin verilmez. DPPP şemasında ise hem yeni hem eldeğiştirme gerçek zamanlı-olmayan aramalar (veri aramaları) gerçek-zamanlı aramalar için eğer gerekiyorsa işgal ettikleri kanalları boşaltarak onlara öncelik vermek kuralını koruyarak sistemde ortak paylaşılan bölgeye girebilirler. Böylelikle hem gerçek-zamanlı aramaların QoS garanti edilmiş hem de yüksek kanal kullanım oranı temin edilmiş olur.

2.7.3 Kanal rezervasyon şemaları

Hücresel sistemlerde, süregiden bir aramanın kesilmesi (düşmesi), yeni bir arama isteğini reddetmekten daha az istenen bir durumdur. Eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılığını azaltmak, hücresel sistem tasarımında önemli bir hedeftir. Bunu sağlamanın yollarından biri eldeğiştirme aramalarına kaynak tahsisinde öncelik vermektir. Rezervasyon yoluyla öncelik elde edilen şemalardan en önemlileri; performans metriğini düzeltmek için geliştirilen Koruyucu Kanal Şeması (**GC**, Guard Channel) [Hong ve Rappaport,1986], [Kwon vd., 2003][Bozkurt vd., SIU 2010] ve eldeğiştirme aramalarının kuyruğa alındığı izin şemalarıdır (Queueing of handoff) [Gaasvik, 1991].

2.8 Sınıf Seviyesi QoS Çalışmaları

Sınıf seviyesinde QoS çalışmalarında, tüm arama sınıfları arasında eşitlik oyun-teorik kurulum yaklaşımı ile [Dziong ve Mason, 1996]'da çalışılmıştır. Mitra vd. (1998) paket seviyesinde QoS için üniform bir eşitlik yaklaşımı benimsemişlerdir. Bir ağda sınıf seviyesi QoS toplam bandgenişliğinin sınıflar arasında nasıl paylaşıldığı ile ilgilidir. Tez kapsamı içerisinde sunulan üç uygulama çalışmasında da arama seviyesinde QoS üzerinde çalışılmıştır. Sınıf seviyesinde QoS daha genel kullanım alanına sahiptir.

2.9 Paket Seviyeli QoS Çalışmalar

Paket seviye QoS'ni garanti etmek için kullanıcı ve kablosuz ağ, kullanıcının önceden tanımlı ve karşılıklı kabul edilentrafik karakterine sahip olması koşuluyla kablosuz ağdan kesin, değişmeyen bir QoS garantisi aldığı bir anlaşmaya girerler.

Paket seviyesindeki QoS, kesin (hard) veya istatistiksel (soft) QoS şeklinde olabilir. Kesin QoS sağlayan şemalar, her bir kabul edilen paketin belirlenen seviyede servis kalitesine sahip olarakl iletilmesini sağlarlar. İstatistiksel QoS ise yalnızca önceden belirlenen bir eşik seviyesinin altında kalan paket miktarı ile ölçülen bir QoS sağlarlar. Kablosuz ağlarda, oylama (polling) mekanizması yoluyla kesin QoS garantisi sağlama [Chang vd., 1997], [Shimizu vd., 2008]'de çalışılmıştır. Paket seviyesinde kesin QoS için, kablosuz ağ sisteminin kullanıcıların arama süresi boyunca trafik karakteristik şartlarını ihlal etmediklerini doğrulaması gerekir. 'Sızıntı bütçeli kurallar mekanizması' literatürde çok geniş olarak çalışılmış ve kullanılmıştır [Turner, 1986], [Cai, 2010]. Kullanıcılara, istatistiksel QoS garantisi sağlama çalışması ise 'efektif bandwidth' yaklaşımı ile [Chang ve Thomas, 1995], [Kesids vd., 1993]'de çalışılmıştır.

3. ARAMA İZİN ŞEMALARINDA MARKOV ZİNCİRİ MODELİ KULLANIMI

3.1 Giriş

Bu bölümde arama-seviyesinde QoS analizine temel teşkil etmesi açısından kablosuz ağlarda Markov Zinciri modeli kullanımı kapalı-form ifadesi (Closed-Form Expression) yolu ile açıklanmıştır. Hücresel kablosuz ağlarda tipik olarak uygulama ses uygulamasıdır. Tek boyutlu Markov Zinciri kullanımı ile eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği ve verildiği iki farklı durumda matematiksel analiz için kapalı-form ifadeleri verilmiştir. Daha sonra bu matematiksel kapalı-form ifadeler ses ve veri servisi için iki-boyutlu Markov Zinciri kullanımı yolu ile açıklanmıştır.

3.2 Tek Boyutlu Markov Zinciri Kullanımı

Geleneksel kablosuz hücresel ağlar her bir aramanın aynı miktar bandgenişliği gerektirdiği (genellikle bir kanal) tek bir (ses) uygulamasına sahiptir. Komşu hücrelerden ayırarak, tek bir hücre sabit sayıda *C* kanal sayısına sahiptir ve sistem giriş parametreleri üzerindeki bazı kabuller şöyledir:

- Yeni bir aramanın hücreye gelişi Poisson işlemi ile λ_n arama/s oranındadır.

- Bir eldeğiştirme aramasının hücreye gelişi Poisson prosesi ile λ_h ile arama/s oranındadır.
- Her bir aramanın hücrede kalma süresi $1/\eta$ ile üssel olarak dağılımlıdır.
- Her bir ses araması sabit ve tek bir kanal gerektirir.
- Yeni ve eldeğiştirme ses aramalarının bir hücreye gelişleri birbirlerinden bağımsız süreçlerdir.

Yukarıdaki kabuller göz önüne alınarak, hücresel ağ tek servis için M/M/C/C kuyruk sistemi ile modellenebilir. Kısaltmadaki ilk *M* gelen aramaların dağılım işlem türünü belirler ve bunun Poisson işlemi olduğunu belirtir. İkinci *M* gelen aramalara servisin üssel dağılım sürecini izleyerek yapıldığını belirtir. İlk *C* bu kuyruk sisteminin *C* adet sunucuya sahip olduğunu, ikinci *C* ise sistem kapasitesinin her hangi bir zamanda en fazla *C* adet müşteri ya da kullanıcıya hizmet verebileceğini belirtir. Tek-boyutla modellenen tek servis Markov Zincirinde eğer bir arama sisteme geldiğinde, sistemin bulunduğu hücrede *C* adet kanal meşgulse arama, sistemden bloklanır. Kuyruk sisteminin durumu, o anda işgal edilen (kullanılan) kanal sayısı *x* ile tanımlanır. *x* aynı zamanda arama sayısına da eşittir. Durum uzayı S={*x*, |*0*≤*x*≤*C*} ile gösterilir.

Temelde, M/M/C/C kuyruk modeli *C* adet ayrık duruma (discrete state) sahip sürekli-zaman Markov Zinciridir. Her arama bir kanalı işgal edebilir ve durumlar arası geçiş yalnızca komşu durumlar arasında olabilir. Bu tip özel Markov Zincirlerine doğum-ölüm süreci (*birth-death process)* adı verilir ve sürekli-zaman Markov Zinciri geçiş olasılıkları aşağıdaki eşitliklerde verilir:

$$p(i,i+1) = a(i) \tag{3.1}$$

$$p(i,i-1) = b(i) \tag{3.2}$$

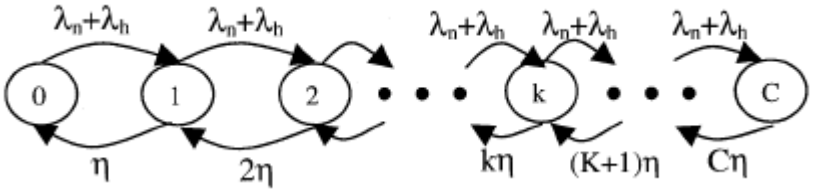
$$p(i,i) = 1-(a(i)+b(i)) \tag{3.3}$$

$$p(i,k\check{g}er\ durumlar) = 0 \tag{3.4}$$

p(i,k) durum *i*'den durum *k*'ya geçiş olasılığıdır. Bir yeni arama geldiğinde, sistemin bulunduğu durumdan bir sonraki duruma geçilir ve bu süreç doğum (*birth*) prosesi olarak adlandırılır. Bir arama tamamlandığında sistemden ayrılır ve bulunulan durumdan bir önceki duruma geçiş yapılır ve bu süreç de ölüm (*death*) proses olarak adlandırılır. Bulunulan *x* durumundan bir sonraki *x+1* ve bir önceki *x-1* durumuna geçiş oranları doğum oranı $\lambda(x)$ ve ölüm oranı $\mu(x)$ olarak adlandırılır.

3.2.1 Eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği Markov Zinciri

Eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği tek-boyutlu Markov Zincirinde yeni ve eldeğiştirme ses aramalarına geliş zamanlarına göre aynı öncelikle kanal tahsis edilerek servis verilir. Şekil 3.1 tek-boyutlu Markov Zincirinin geçiş diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.1 Eldeğiştirme Aramalarının Önceliğinin Olmadığı Durumda Geçiş Diyagramı

Yeni ve eldeğiştirme aramalarına aynı önceliğin verildiği durumda, *x* durumunun doğum oranı aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$\lambda(x) = \begin{cases} \lambda_n + \lambda_{h,} & 0 \le x \le C \\ 0 & diğer\ durumlar \end{cases} \tag{3.5}$$

x durumunun ölüm oranı ise aşağıdaki gibidir,

$$\mu(x) = \begin{cases} x\eta, & 0 \le x \le C \\ 0 & diğer\ durumlar \end{cases} \tag{3.6}$$

Sistemin k durumunda kalma olasılığına eşit olan kararlı durum dağılımı $P(k)$ ise aşağıdaki eşitlikler çözülerek bulunur:

$$\lambda(k-1)P(k-1)+\mu(k+1)P(k+1)=(\lambda(k)+\mu(k))P(k), \qquad 0\le k\le C \tag{3.7}$$

ve

$$\sum_{k=0}^{C} P(k)=1 \tag{3.8}$$

Eşitlik 3.7 her bir durum için fark eşitliğidir. Sistem kararlı durumda iken, gelen aramaların geliş oranları giden aramaların ayrılma oranlarına eşit olur [123]. Eşitlik (3.8) olasılık dağılımı için gereken kısıttır. Bir diğer adı normalleştirme eşitliği (normalization equation) 'dir.

Yukarıdaki iki eşitlikten, kararlı durum dağılımı $P(k)$ aşağıdaki şekilde bulunur [Cooper, 1981],

$$P(k)=\begin{cases}\dfrac{\left(\dfrac{\lambda_n+\lambda_h}{\eta}\right)^k}{k!}P(0), & 0\le k\le C\\ 0 & \textit{diğer durumlar}\end{cases} \tag{3.9}$$

Eşitlikte $P(0)$ aşağıdaki formülden bulunur [Cooper, 1981].

$$P(0)=\left(\sum_{i=0}^{C}\frac{\left(\dfrac{\lambda_n+\lambda_h}{\eta}\right)^i}{i!}\right)^{-1} \tag{3.10}$$

Kararlı durum dağılımı hesaplandıktan sonra, sistemde tüm C kanalının işgal edildiği duruma eşit olan olasılıklar, yeni ses aramalarının bloklanma olasılığı P_B ve eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılığı P_D aşağıdaki şekilde hesaplanır [Cooper, 1981]:

$$P_B = P_D = P(C) \tag{3.11}$$

Yukarıdaki eşitlikten görüleceği üzere, eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği durumda, yeni ve eldeğiştirme aramalarının sırasıyla bloklanma ve düşürülme oranları birbiri ile aynıdır.

3.2.2 Eldeğiştirme aramalarına öncelik verildiği durumda Markov Zinciri

Öncelikli şema, eldeğiştirme aramalarına yeni ses aramalarının üzerinde öncelikle sisteme kabul izni verir. Bunun için, toplam kanalın belli sayıda kısmı yalnızca eldeğiştirme aramalrının kullanımına açılır. Toplam *C* adet kanalın yeni aramaların kullanımına açık kanal sayısı *T* eşik (*threshold*) değeri olarak belirlenir. Yeni aramalar sistemde T kanaldan daha az ayıda kanal kullanımda ise kabul edilirler. Eldeğiştirme aramaları ise ancak tüm kanallar (*C*) kullanımda ise reddedilirler. Sonuç olarak, *C*-*T* farkı eldeğiştirme aramaları için tahsisi edilen koruyucu (*guard*) kanallardır. Eşik değeri *T* belirtilerek öncelikli şemada da M/M/C/C kuyruk sistemi kullanılabilir. Geçiş diyagramı şu şekilde gösterilir:

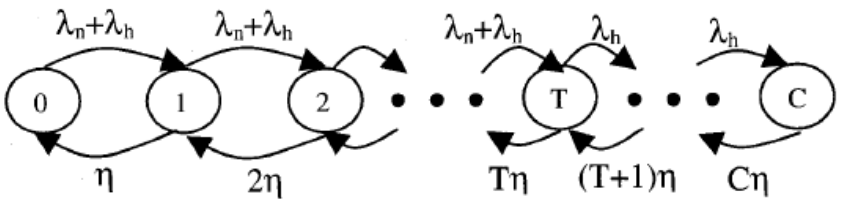


Figure 3.2 Öncelikli Şema Kullanımı Durumunda Geçiş Diyagramı

Öncelikli şemada, durum *x*'in doğum oranı aşağıdaki şekilde olur:

$$\lambda(x) = \begin{cases} \lambda_n + \lambda_{h,} & 0 \le x \le T \\ \lambda_{h,} & T \le x \le C \\ 0 & \textit{diğer durumlar} \end{cases} \tag{3.12}$$

Durum *x*'in ölüm oranı ise,

$$\mu(x) = \begin{cases} x\eta, & 0 \le x \le C \\ 0 & diğer\ durumlar \end{cases} \tag{3.13}$$

Eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği durumla aynı eşitlik metodunu kullanarak, öncelikli şemada kararlı durum dağılım olasılığı $P(k)$ aşağıdaki şekilde bulunur [Kleinrock, 1996]:

$$P(k) = \begin{cases} \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_n + \lambda_h}{\eta}\right)^k}{k!} P(0), & 0 \le k \le T \\ \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_n + \lambda_h}{\eta}\right)^T \left(\dfrac{\lambda_h}{\eta}\right)^{k-T}}{k!} P(0), & T \le k \le C \\ 0 & diğer\ durumlar \end{cases} \tag{3.14}$$

Burada $P(0)$,

$$P(0) = \left(\sum_{i=0}^{T} \frac{\left(\dfrac{\lambda_n + \lambda_h}{\eta}\right)^i}{i!} + \sum_{i=T+1}^{C} \frac{\left(\dfrac{\lambda_n + \lambda_h}{\eta}\right)^T \left(\dfrac{\lambda_h}{\eta}\right)^{i-T}}{i!} \right)^{-1} \tag{3.15}$$

Karalı durum dağılım olasılığı $P(k)$ hesaplandıktan sonra, sistemde T kanalın işgal edilme olasılığı anlamına gelen yeni aramaların bloklanma olasılığı P_B aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [Kleinrock, 1996]:

$$P_B = \sum_{i=T}^{C} P(i) \tag{3.16}$$

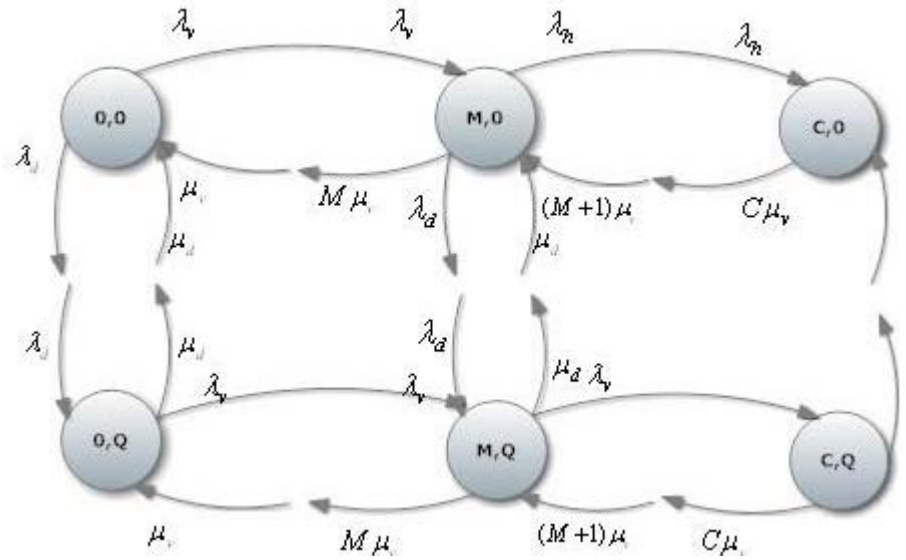
Sistemde C kanalın işgal edilme olasılığı anlamına gelen, yeni aramaların düşürülme olasılığı P_D aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$P_D = P(C) \tag{3.17}$$

3.16 ve 3.17'den görüleceği üzere $P_B \geq P_D$ 'dir. Eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmeyen durumla karşılaştırıldında P_D oranı öncelikli durumda daha küçüktür.

3.3 İki Boyutlu Markov Zinciri

İki boyutlu Markov zinciri ile modelinde, *(i,j)* Markov zincirinin kararlı-durumudur; burada herhangi bir durum (state) kararlı halde *i* adet yeni ses araması, *j* adet veri aramasını temsil eder. Markov zincirinin geçiş diyagramı (transition diagram) Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 CP için Durum Geçiş Diyagramı (State-transition diagram)

$p(i, j; l, m)$, (i, j) durumundan (l, m) durumuna geçiş oranı (probability transition rate) olasılığıdır.

Şekil 3'den geçiş oranı olasılıkları aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\begin{aligned} p(i, j; i-1, j) &= i\mu_v \qquad 0 \le i \le C,\ \ 0 \le i \le Q \\ p(i, j; i, j-1) &= j\mu_d \qquad 0 \le i \le C,\ \ 0 \le i \le Q \\ p(i, j; i+1, j) &= \lambda_{Tv} \qquad 0 \le i \le C,\ \ 0 \le i \le Q \\ p(i, j; i, j+1) &= \lambda_{Td} \qquad 0 \le i \le C,\ \ 0 \le i \le Q \end{aligned} \tag{3.18}$$

Sayısal çözümlerle $p(i, j)$ kararlı-durum olasılığı (steady-state probability) aşağıdaki gibi elde edilir [Cooper, 1981]:

$$p(i,j) = \frac{\left(\frac{\lambda_{Tv}}{\mu_v}\right)^i}{i!} \frac{\left(\frac{\lambda_{Td}}{\mu_d}\right)^j}{j!} p(0,0), \qquad \begin{cases} 0 \le i, j \le C \\ (i+j) \le C \end{cases} \tag{3.19}$$

Eşitlikteki normalleştirme katsayısı $p(0,0)$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} p(0,0) &= \left(\sum_{(i,j)\in s} \frac{\left(\frac{\lambda_{Tv}}{\mu_v}\right)^i}{i!} \frac{\left(\frac{\lambda_{Td}}{\mu_d}\right)^j}{j!} \right)^{-1} \\ &= \left(\sum_{i=0}^{C} \frac{\left(\frac{\lambda_{Tv}}{\mu_v}\right)^i}{i!} \sum_{j=0}^{C-i} \frac{\left(\frac{\lambda_{Td}}{\mu_d}\right)^j}{j!} \right)^{-1} \end{aligned} \tag{3.20}$$

Yeni aramaları bloklama olasılığı P_B ve eldeğiştirme aramalarını düşürme olasılığı P_D eldeğiştirme aramalarına öncelik verilmediği zaman birbirlerine eşit olur ve aşağıdaki verildiği biçimde hesaplanır [Cooper, 1981]:

$$P_B = P_D = \frac{\frac{(\rho_d + \rho_v)^C}{C!}}{\sum_{j=0}^{C} \frac{(\rho_d + \rho_v)^j}{j!}} \tag{3.21}$$

ρ_d ve ρ_v veri ve ses aramalarına ait ortalama trafik yüküdür.

4. ENTEGRE SES/VERİ HÜCRESEL KABLOSUZ AĞLARDA SERVİS KALİTESİ VE KANAL TAHSİSİ

4.1 Sistem Modeli

Çalışmada sistemin istatistiksel olarak dengede olup (yani herhangi bir hücreye gelen aramalarla giden aramaların oranlarının birbirine eşit olduğu) çevreleyen altı komşu hücrenin de homojen trafik şartlarına sahip olduğu farzedilerek tek bir hücre referans alınmıştır. Kablosuz hücresel sisteme gelen yeni ve eldeğiştirme ses ve veri aramalarının Poisson dağılımlı, servis oranlarının da üssel (exponential) dağılımlı olduğu kabul edilmiştir. Tek bir hücreyi sistemden ayırarak o hücrenin performansı üzerinden sistem performansını değerlendirebiliriz. Bu şekilde tek hücre üzerinden analizler literatürde oldukça yaygın şekilde kullanılmıştır [Guerin, 1988].

Ses gerçek-zamanlı bir uygulama olduğu için gerçek-zamanlı olmayan uygulamalara (e-posta, sms) göre ses aramalarına daha öncelikli olarak kanal tahsis edilir. Hücreye gelen aramalar iki tiptir: yeni ve eldeğiştirme (handoff) ses ve veri aramaları. Süregiden bir eldeğiştirme aramasının kesilmesi, yeni bir arama isteğinin bloklanmasından daha az istenen bir durum olduğu için önlem olarak kanal kapasitesinin belli bir kısmı koruyucu (guard channel) kanal olarak yalnızca eldeğiştirme aramalarına tahsis edilir.

Kanal tahsisinde koruyucu kanal yaklaşımında kullanılan yaygın prensip Limitli Kesirli Koruyucu Kanal Prensibi (LFGCP, Limited Fractional Guard Channel Policy)

olarak adlandırılır. Çalışmada LFGCP prensibi gözetilerek belli sayıda kanal yalnızca eldeğiştime aramalarına ayrılmıştır.

4.2 Önerilen Kontrol Şeması

Önerilen izin kontrol şeması CP kaynak bölüşüm tekniğinde olduğu gibi C toplam kanal kapasitesini servisler arasında ayrı ayrı bölüştürür; QoS servis kalitesini belli değerlerde korumayı amaçlar. Min [Ramjee vd., 1997] algoritmasıyla sistemde hedeflenen B_{nv} yeni ses aramalarının bloklanma olasılığı ve B_{hv} el değiştirme ses aramalarının düşürülme olasılığı kısıtlarına bağlı kalınarak sisteme kabul edilebilecek optimum ses arama sayısı M_v belirlenir. Ses aramaları gerçek-zamanlı uygulama olduğu için bandgenişliği ihtiyaçları sabit ve r_v kadardır. Ses araması başına düşen bandgenişliğinin artırılıp azaltılması aramanın süresini (servis zamanını) değiştirmez; ses aramaları C kapasitesinin en çok $M_v.r_v$ kadarını, veri aramaları ise kalan kapasite C-$M_v.r_v$'yi kullanırlar. Kalan bantgenişliği veri aramaları arasında eşit olarak paylaşılır. Veri, elastik bantgenişliği ihtiyacında olduğundan arama başına düşen bantgenişliğini kritik bir sınırın altına düşürmeden kontrol şeması gelen yeni veri aramaları sisteme kabul edebilir.

λ_v , λ_{hv} , λ_d, λ_{hd} yeni ses araması, eldeğiştirme ses araması, yeni veri araması ve eldeğiştirme veri aramasının bir saniyedeki gelme sayısıdır. Ses araması için kanal işgal süresi μ_v^{-1} ortalamayla, hücre içersinde bulunma süresi η_v^{-1} ortalamayla ve aramanın toplam süresi ise μ_{vr}^{-1} ortalamayla üssel dağılım izlerler. Eşitlik (4.1) ses aramaları için kanal işgal süresinin üssel olarak ortalama dağılımını tanımlar.

$$\mu_v^{-1} = (\eta_v + \mu_{vr})^{-1} \tag{4.1}$$

Veri araması için kanal işgal süresi μ_d^{-1} ortalamayla, hücre kapsama alanı içersinde bulunma süresi ise η_d^{-1} ortalamayla üssel dağılım izlerler. Veri aramalarında aramanın toplam süresi, arama başına düşen bantgenişliği gelen ya da sistemden giden veri arama sayısı ile değiştiğinden, hem dosyanın uzunluğuna (file size) hem de *j* ile değişken, durum-bağımlı servis oranlarına $\left(\frac{(C-Mv.28.8kbps)}{j}.\frac{1}{fd}\right)$ bağlıdır. j sistemdeki veri araması sayısı, *f* ise veri dosyası büyüklüğüdür. Ses ve veri eldeğiştirme aramalarının geliş oranları λ_{hv} ve λ_{hd} değerleri analizde $0.2.\lambda_v$ ve $0.2.\lambda_d$ olarak alınmıştır.

4.3 Kararlı Durum Eşitliklerinin Çözümü

Çoklu servis durumunda, ses servisini kullanan mobil kullanıcıların sayısı M_v, veri servisini kullanan mobil kullanıcıların sayısı M_d ile gösterilerek kontrol şeması iki boyutlu (2-D) Markov Zinciri ile modellenebilir. T_v ve T_d her iki servis de yeni aramaların kabulü için eşik değerleridir. Sistemde herhangi bir anda *i* ve *j* adet ses ve veri araması bulunması olasılığı *P(i,j)* ile gösterilir. Şekil 4.1 ve 4.2'de iki-boyutlu Markov zinciri modelinin kararlı-durum olasılık diyagramını göstermektedir.

Ses aramalarına ayrılan kanal sayısı M_v=21, veri aramalarına ayrılan kanal sayısı ise M_d=11 olarak öncden belirli değerler olarak kabul edilmiştir. (*i*,*j*) sistemde i adet ses aramasını *j* adet ise veri aramasını belirtir; (*i*,*j*) için geçiş oranları (transition rates) eşitlik (4.2)-(4.7) arasında gösterilmiştir:

$$\left\{p(i,j;i+1,j)=\lambda_v+\lambda_{hv}.....\left(0\le i\le Tv,0\le j\le M_d\right)\right. \tag{4.2}$$

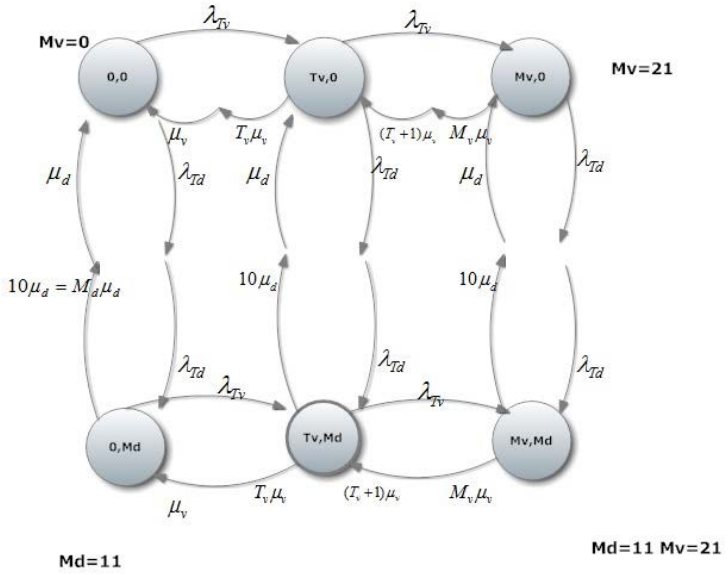
$$\left\{p(i,j;i+1,j)=\lambda_{hv}.....\left(0\le i\le M_v,0\le j\le M_d\right)\right. \tag{4.3}$$

$$\left\{p(i,i-1)=i\mu_v.....\left(0\le i\le T_v,0\le j\le M_d\right)\right. \tag{4.4}$$

$$\left\{ p(i,j,i,j+1) = \lambda_d + \lambda_{hd} \text{.....} (0 \le i \le M_v, 0 \le j \le T_d) \right. \tag{4.5}$$

$$\left\{ p(i,j,i,j+1) = \lambda_{hd} \text{.....} (0 \le i \le M_v, 0 \le j \le M_d) \right. \tag{4.6}$$

$$\left\{ p(i,j,i,j-1) = j\mu_d \text{.....} (0 \le i \le M_v, 0 \le j \le T_d) \right. \tag{4.7}$$



Şekil 4.1 CP için Durum Geçiş Diyagramı (State-Tansition Diagram)

Gelen yeni ve eldeğiştirme arama oranları her iki servis için aşağıdaki eşitsizliklerle ifade edilir:

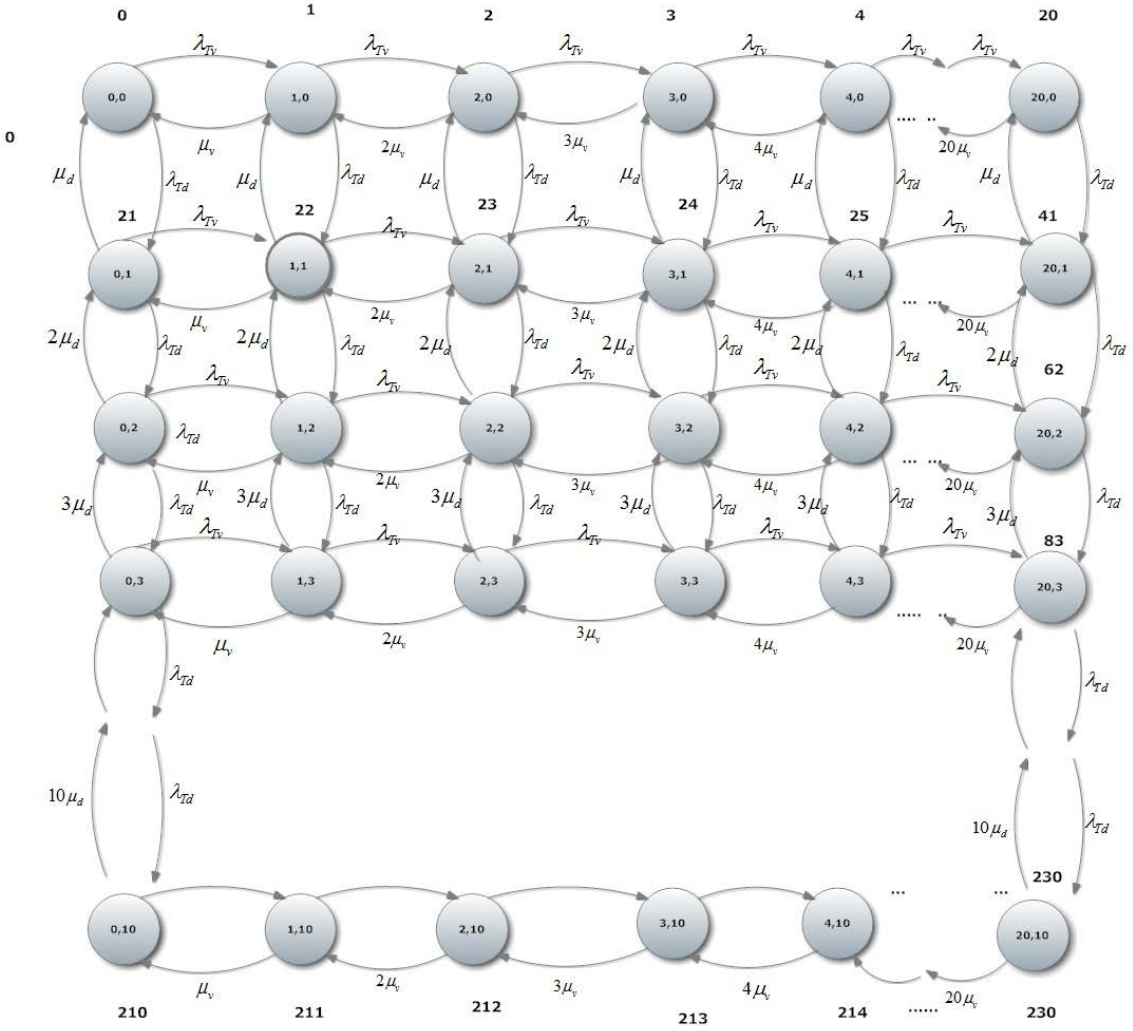
$$\lambda_{Tv} = \begin{cases} \lambda_v + \lambda_{hv}, & 0 \le i \le T_v,\ 0 \le j \le M_d \\ \lambda_{hv}, & T_v \le i \le M_v,\ 0 \le j \le M_d \\ 0, & \textit{diğer durumlar} \end{cases} \tag{4.8}$$

$$\lambda_{Td} = \begin{cases} \lambda_d + \lambda_{hd}, & 0 \le i \le T_d,\quad 0 \le j \le M_v \\ \lambda_{hd}, & T_d \le i \le M_d,\ 0 \le j \le M_v \\ 0, & \textit{diğer durumlar} \end{cases} \tag{4.9}$$

Gelen arama ve servis oranları belirlendikten sonra Şekil 4.2'den görüleceği üzere, çoklu-servis hücresel ağın genel kararlı durum eşitliği aşağıdaki gibi yazılır:

$$[\lambda_{Tv}(i,j)+\lambda_{Td}(i,j)+i\mu_v+j\mu_d]P(i,j)$$
$$=(i+1)\mu_v P(i+1,j)+(j+1)\mu_d P(i,j+1)+\lambda_{Tv}(i-1,j)P(i-1,j)+\lambda_{Td}(i,j-1)P(m,n-1) \quad (4.10)$$

Bu genel eşitliğe ek olarak, modelin sınırları boyundaki durum eşitlikleri de Şekil 4.3'den elde edilebilir.



Şekil 4.2 CP için Ayrıntılı Durum Geçiş Diyagramı (State-Transition Diagram)

Tablo 4.1 Vektör Durum İndeksi

Durum (*i,j*)	Vektör indeksi
(0,0)	0
(0,1)	1
(0,2)	2
…	
(0,M_v)	M_v
(1,0)	M_v+1
(1,1)	M_v+2
….	
(M_d,0)	(M_v-1).M_d
(M_d,1)	(M_v-1).M_d+1
…	
(M_d,M_v)	M_v.M_d

Kararlı durum olasılığı *P(i,j)* elde etmek için tüm durumlar Tablo 4.1'deki dönüşümden yararlanılarak X ile gösterilen durum olasılık vektörüne yerleştirilir. Daha sonra durum geçiş oran matrisi T tüm elde edilen durum eşitliklerinden elde edilir. X durum olasılık vektörünün her bir elamanı P_i ile gösterilir. $P_i = (P_{0,} P_1, P_2, ...P_{Mv})$ kararlı durum vektörüdür. Vektörün elemanları ise $P_i = (P(n,0), P(n,1), ..., P(n, M_d)), \quad 0 \le n \le M_v$ ile gösterilir. Tüm P_i olasılıklarının cebirsel toplamı bire eşittir. P_i Vektörünün çözümü için $TP = 0$ [Kleinrock, 1996] ve $\sum_i P_i = 1$ eşitliklerinin çözümü ile bulunur.

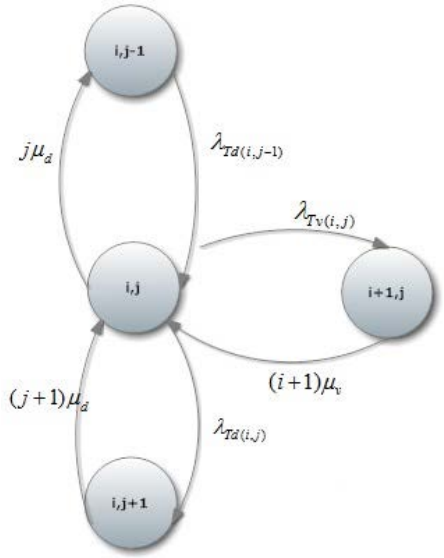
$$PT = 0 \tag{4.11}$$

$$\sum_i P_i = 1 \tag{4.12}$$

Geçiş oran matrisi T 'nin bir sütun boyunca tüm elamanlarının toplamı sıfırdır. Her bir durumun denge (balance equations) eşitlikleri ve normalize şartı olan

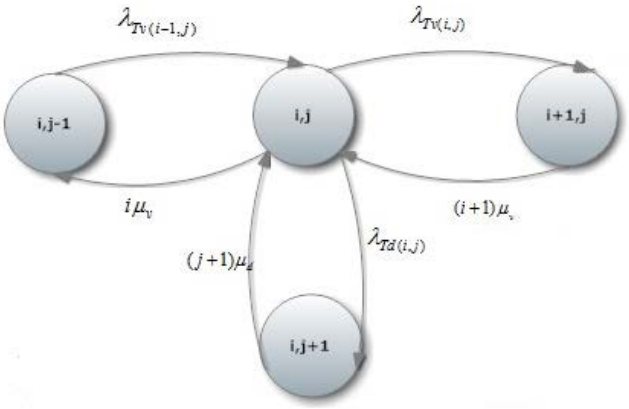
$\sum_{0\le i\le Mv, 0\le j\le Md} P(i,j)=1$ eşitliği kullanılır [Kleinrock, 1996]. Elde edilen lineer eşitlikler LU decomposition [Stewart, 1994] metodu ile çözülerek tüm kararlı-durum olasılıkları hesaplanır.

Geçiş oran matrisi T, her bir durumun denge (balance equations) eşitliklerinden elde edilir. Şekil 4.3 (a)-(h)'de Markov Zincirinde bazı farklı durumlar için eşitlikler çıkarılmış ve durum diyagramları çizilmiştir.



$$[\lambda_{Tv}(i,j)+\lambda_{Td}(i,j)+j\mu_d]P(i,j)$$
$$=(i+1)\mu_v P(i+1,j)+(j+1)\mu_d P(i,j+1)+\lambda_{Td}(i,j-1)P(i,j-1)$$

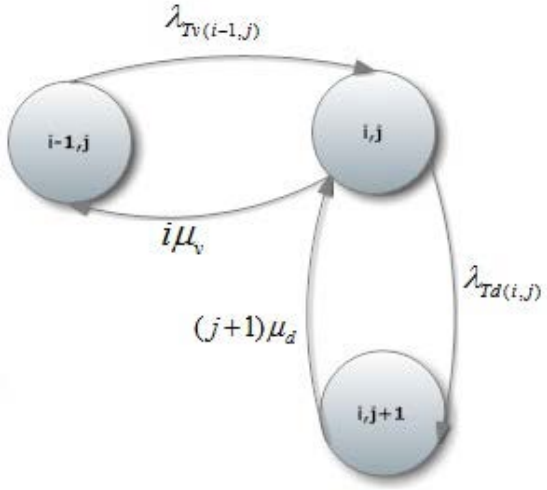
Şekil 4.3 (a) $i=0,\ 1\le j\le M_d-1$ durumu denge eşitliği



$$[\lambda_{Tv}(i,j)+\lambda_{Td}(i,j)+i\mu_v]P(i,j)$$

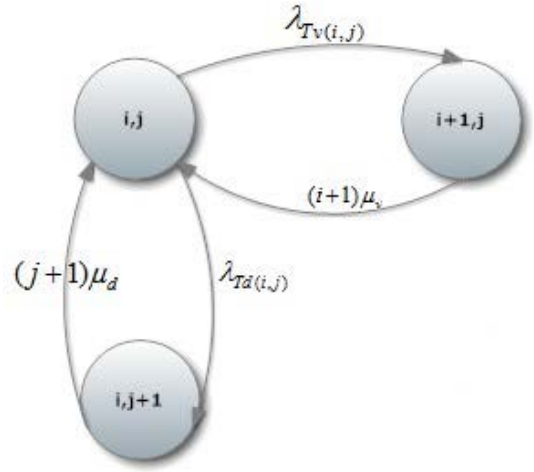
$$=(i+1)\mu_v P(i+1,j)+(j+1)\mu_d P(i,j+1)+\lambda_{Tv}(i-1,j)P(i-1,j)$$

Şekil 4.3 (b) $1\le i\le M_v-1,\ \ j=0$ durumu denge eşitliği



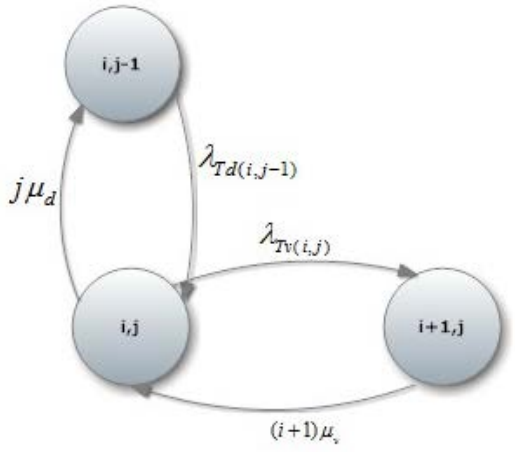
$$[\lambda_{Tv}(i,j)P(i-1,j)+(j+1)\mu_d P(i,j+1)]$$
$$=\lambda_{Td}(i,j)P(i,j)+j\mu_d P(i,j)$$

Şekil 4.3 (c) $i=M_v,\ \ j=0$ durumu denge eşitliği



$$[\lambda_{Tv}(i,j)P(i,j)+\lambda_{Td}(i,j)P(i,j)]$$
$$=(i+1)\mu_v P(i+1,j)+(j+1)\mu_d P(i,j+1)$$

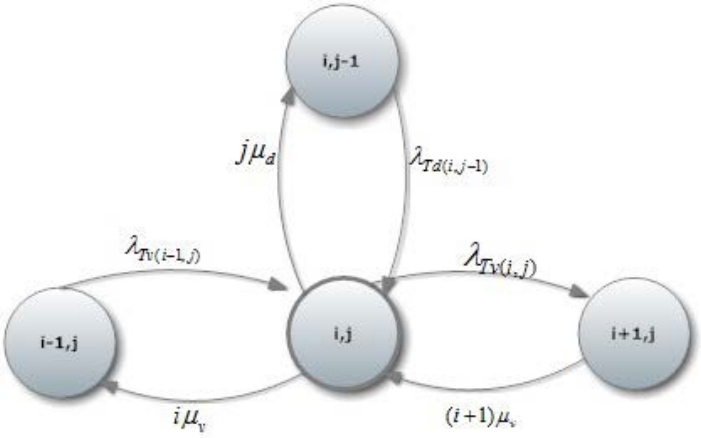
Şekil 4.3 (d) $i=0,\ j=0$ durumu denge eşitliği



$$[\lambda_{Tv}(i,j)+\lambda_{Td}(i,j)]P(i,j)$$

$$=(i+1)\mu_v P(i+1,j)+(j+1)\mu_d P(i,j+1)$$

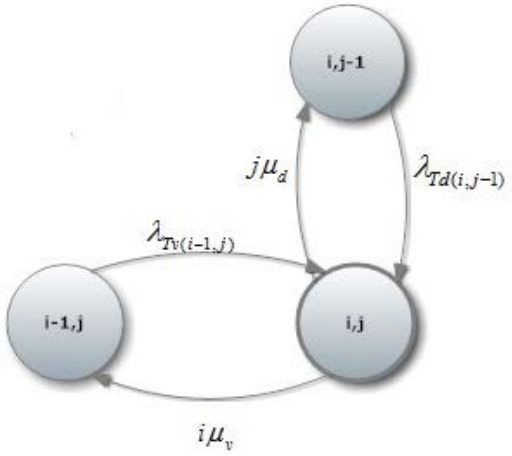
Şekil 4.3 (e) $i=0,\ j=M_d$ durumu denge eşitliği



$$[\lambda_{Tv}(i,j)+i\mu_v+j\mu_d]P(i,j)$$

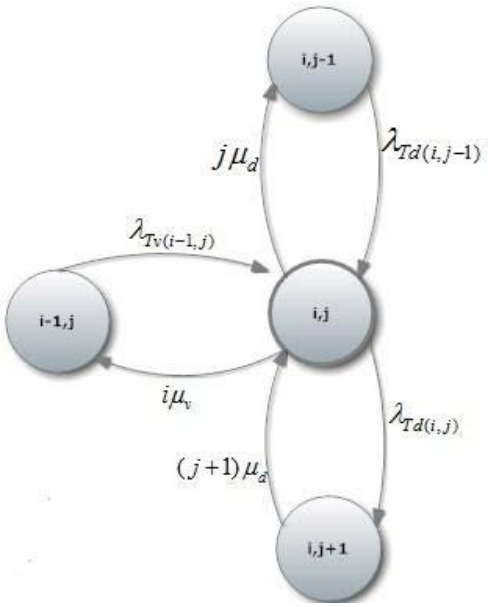
$$=(i+1)\mu_v P(i+1,j)+\lambda_{Tv}(i-1,j)P(i-1,j)+\lambda_{Td}(i,j-1)P(m,n-1)$$

Şekil 4.3 (f) $1\le i\le M_v-1,\quad j=M_d$ durumu denge eşitliği



$$[\lambda_{Td}(i,j-1)P(i,j-1)+\lambda_{Tv}(i-1,j)P(i-1,j)]$$
$$=i\mu_v P(i,j)+j\mu_d P(i,j)$$

Şekil 4.3 (g) $i=M_v,\quad j=M_d$ durumu denge eşitliği



$$[\lambda_{Td}(i, j-1)P(i, j-1) + (j+1)\mu_d P(i, j+1) + \lambda_{Tv}(i-1, j)P(i-1, j)]$$
$$= \lambda_{Td}(i, j)P(i, j) + i\mu_v P(i, j) + j\mu_d P(i, j)$$

Şekil 4.3 (h) $i = M_v,\ 1 \le j \le M_d - 1$ durumu denge eşitliği

Tablo 4.2 Geçiş Oranı T Matrisi

T=

	0	1	2	3	4...	21	22	23	24	..37	38	39	40	41	...	230
0			0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1				0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0				0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0				0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
4																
5																
6																
7																
8																
9																
...																
16									16							
17									17							
18									18							
19									19							
20									20							
..																
230																

21x11=231, *0*'dan *230*. duruma (state) kadar *231* farklı durum oluşur.

Vektör

$$
\begin{aligned}
&0 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td})P_{00} = \mu_v P_{10} + \mu_d P_{01} \\
&1 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td}+\mu_v)P_{10} = \lambda_{Tv}P_{00} + 2\mu_v P_{20} + \mu_d P_{11} \\
&2 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td}+2\mu_v)P_{20} = \lambda_{Tv}P_{10} + 3\mu_v P_{30} + 2\mu_d P_{21} \\
&3 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td}+3\mu_v)P_{30} = \lambda_{Tv}P_{20} + 4\mu_v P_{40} + 3\mu_d P_{31} \\
&4 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td}+4\mu_v)P_{40} = \lambda_{Tv}P_{30} + 5\mu_v P_{50} + 4\mu_d P_{41} \\
&\ldots\ldots \\
&21 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td}+\mu_d)P_{01} = \mu_v P_{11} + 2\mu_d P_{02} + \lambda_{Td}P_{00} \\
&22 \quad (\lambda_{Tv}+\lambda_{Td}+\mu_v+\mu_d)P_{11} = 2\mu_v P_{21} + 2\mu_d P_{12} + \lambda_{Td}P_{10} \\
&\ldots\ldots \\
&230 \quad (20\mu_v+20\mu_d)P_{10} = \lambda_{Tv}P_{(20,9)} + \lambda_{Td}P_{19,10}
\end{aligned}
\tag{4.13}
$$

$$TP = 0 \tag{4.14}$$

$$
\begin{pmatrix}
a_{00} & a_{10} & a_{20,0} \\
a_{01} & a_{11} & a_{20,1} \\
 & & \\
a_{0,Md} & a_{1,Md} & a_{20,Md}
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
P_{00} \\ P_{10} \\ P_{20} \\ .. \\ P_{20,10}
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
0 \\ 0 \\ 0 \\ .. \\ 0
\end{pmatrix}
\tag{4.15}
$$

$$
T^{-} = \begin{pmatrix} & & \\ & & \\ & & \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},\ b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ .. \\ 1 \end{pmatrix}
\tag{4.16}
$$

$$T^{-}P = b \tag{4.17}$$

$$\begin{pmatrix} & & \\ & & \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{00} \\ P_{10} \\ P_{20} \\ .. \\ P_{20,10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ .. \\ 1 \end{pmatrix} \tag{4.18}$$

$Ax = b$ *formuna dönülüp* *çözülür* ,

$LU = A$

$(LU)x = b = L(Ux) = b,\ Ux = y,$ LU 'decomposition'metodu ile çözülür.

Kararlı durum olasılığı P_i bulunduktan sonra, performans ölçütleri ses aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılıkları, veri aramalarının düşürülme olasılığı, veri aramalarının ortalama servis oranları ve sistemin kaynaklarının kullanım etkinlik yüzdesi gibi performans ölçütleri hesaplanır.

4.4 Performans Ölçütleri

4.4.1 Ses aramaları bloklanma olasılığı

Yeni ses aramalarının sisteme gelişlerinde, kendilerine ayrılan tüm T_v adet kanalın dolu kullanımda olduğu durumda bloklanma olasılıklarını aşağıdaki eşitlikle hesaplayabilriz:

$$B_{nv} = (1 - B_V) \sum_{j=0}^{Md} pvd(T_V, j) + \sum_{i=T_V+1}^{Mv} \sum_{j=0}^{Md} pvd(i, j) \tag{4.19}$$

4.4.2 Ses aramalarının düşürülme olasılığı

Eldeğiştirme ses aramalarının sisteme gelişlerinde hücresel ağın tüm kanallarının kullanımda olup eldeğştirme aramalarının düşürülme olasılığı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$D_{hv} = \sum_{j=0}^{Md} pvd(M_v, j) \tag{4.20}$$

4.4.3 Veri aramalarının düşürülme olasılığı

Eldeğiştirme veri aramalarının sisteme gelişlerinde hücresel ağın tüm kanallarının kullanımda olup eldeğiştirme aramalarının düşürülme olasılığı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$D_{hd} = \sum_{i=0}^{Mv} pvd(i, M_d) \tag{4.21}$$

4.4.4 Veri aramaları ortalama servis oranı

Saniyede cevap verilen arama sayısı (arama/sn) veri aramaları için aramanın ne kadar zamanda tamamlanacağını gösteren bir performans ölçütüdür. Önerilen modelde web taramanın ortalama 512 kbps, gönderilen ya da alınan e-mail dosya boyutunun ortalama 10 Mbps olduğunu göze alarak çalışmada veri dosyası uzunluğu ortalama 2 Mbps olarak seçilmiştir. Ortalam servis oranı aşağıdaki eşitlikten bulunabililir:

$$\text{veri}_{\text{througput}-\text{averaj}} = \sum_{J=1}^{Md} \sum_{i=0}^{Mv} j.[\eta_d + \frac{(C - 10*28.8kbps)}{j} \frac{1}{f_d}].pvd(i, j) \tag{4.22}$$

4.4.5 Kanal kapasitesi kullanım verimliliği

Toplam kanal kullanım verimliliği ortalama kullanılan kanal sayısının toplam kanalın sahip olduğu kanal sayısına oranı ile aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\eta = p_{vd}(i, j) * [i * 28.8kbps + (1000 - 10 * 28.8)] \qquad (4.23)$$

4.5 Sayısal Sonuçlar

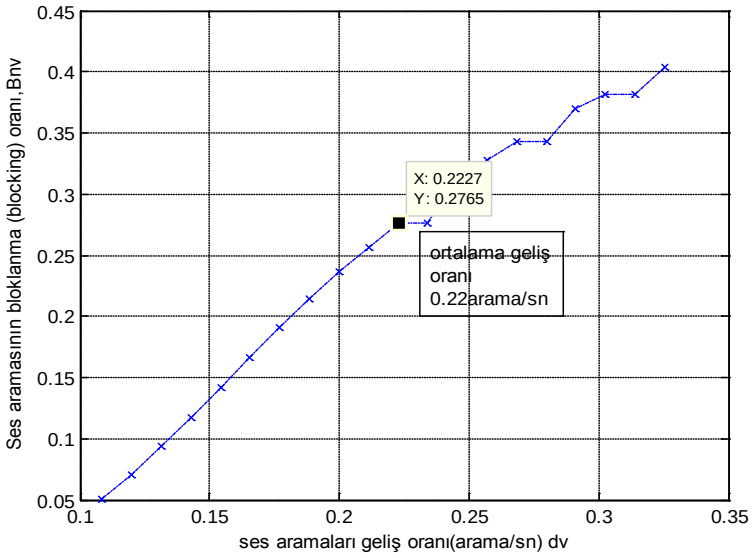
Markov Zinciri modelinin matematiksel analizi sonucu önerilen izin kontrol şemasının performans ölçütleri, Şekil 4.4-4.8 arasında ses aramalarının çeşitli geliş oranları için gösterilmiştir. Sistemde gerekli bandgenişlikleri, hedeflenen parametreler ve sistem sabitleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 0.1085-0.3255*λ_v aralığında değişen ses araması geliş oranına karşı B_{nv} ve B_{hv} değişimini göstermektedir. Bu değerler seçilirken ses aramasının ortalama 2 dakika sürdüğü (1/0.0083=120 sn), kanal işgal süresinin ise (1/(0.0083+0.016=1/0.0243=41sn) olduğu kabul edilmiştir. Sistem yükünün performansını göstermek amacı ile yükün geliş oranı/servis oranı değerini 10 kat olarak seçtik. Dolayısıyla geliş oranı/0.0243=10 eşitliğinden ortalama geliş oranı (arama/sn) 0.217 olarak hesaplandı. Bu oranın yarısında (0.5 katı=0.5.0.217=0.1085) ve (1.5 katında 1,5.0.217=0.3255) geliş oranları için sistem performansını ayrıca değerlendirmek istedik. Referans olarak alınan saniyede 0.217 arama oranının artmasıyla beraberinde sistem yükü de arttığından dolayı bloklanma ve düşürülme olasılık değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Q_{nv} B_{nv}'nin Q_{hv} de D_{hv}'nin hedeflenen üst sınır değeridir. Q_{nv} yalnızca λ_v <=0.217 arama/sn olduğu zaman hedeflediğimiz 0.27 sınırı içinde kalmıştır.

Tablo 4.3 Sistem Parametreleri

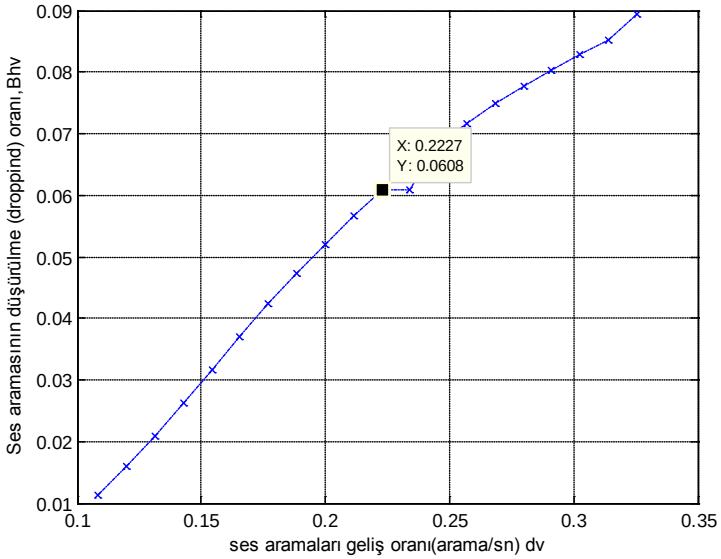
Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
C	1 Mbps	μ_{vh}	0.016 arama/sn
$\lambda_{v\text{-aralık}}$	0.1085-0.3255	λ_d	0.025 arama/sn
λ_v	0.217 arama/sn	λ_{hd}	$0.2\lambda_d$
λ_{hv}	$0.2\lambda_v$	μ_{dr}	0.07 arama/sn
μ_{vr}	0.0083 arama/sn	μ_{dh}	0.1976/j
r_v	28.8 kb/s	Q_{nv}- Q_{hv}	0.27- 0.05
f_d	2Mbps	Q_{nd}- Q_{hd}	0.01- 0.002

D_{hv} ise referans olarak alınan geliş oranı altındaki trafik yükleri için 0.05 çalışmada hedeflediğimiz düşürülme değerinin 0.055 civarında biraz üzerinde çıkmıştır. Şekil 4.6'da ses aramalarında olduğu gibi veri aramalarının da ses geliş oranı λ_v'nin artmasıyla sistemden düşürülme olasılık değerlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 4.4 Ses Aramalarının Bloklanma Olasılığı

Şekil 4.7'de veri aramalarının averaj servis oranının λ_v'nin artmasıyla yükseldiği görülmektedir. λ_v =0.217 arama/sn'de veri aramaları servis oranı 0.1411, λ_v=0.299 arama/sn'de ise 0.1922'dur. $Veri_{througput\text{-}averaj}$ değeri, ayrıca f_d=1 Mbps ve f_d=2 Mbps iki farklı dosya boyutu için analitik modelden hesaplanmıştır.



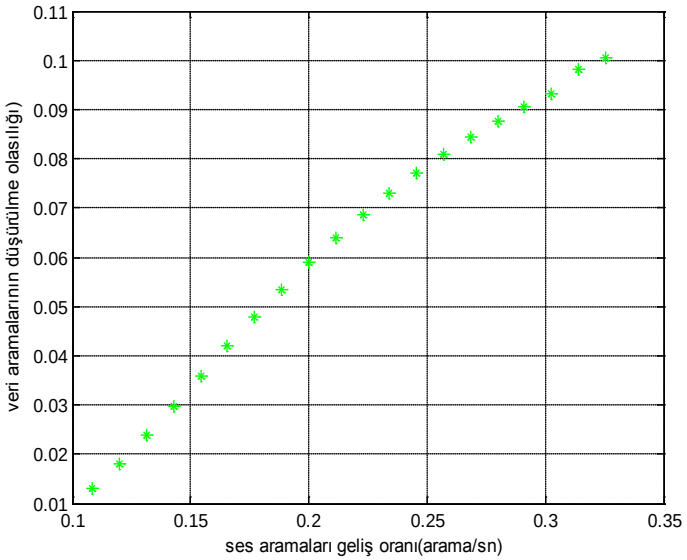
Şekil 4.5 Ses Aramalarının Düşürülme Olasılığı

Şekil 4.8 λ_v oranının artışına karşılık C =1 Mbps kanal kapasitesinin kullanım oranını göstermektedir. Sistemde referans ses geliş oranı için hiçbir ses ya da veri kullanıcı bulunmadığı durum ile maksimum M_v adet ve M_d adet kullanıcı bulunduğu durumların olasılıkları $p_{vd}(0,0)$=0.0160 ve $p_{vd}(10,\ 5)$=0.0144 ve kullanım oranı 0.8731'tir. Geliş oranı örneğin 0.32'ye artırıldığında bu olasılık değerleri sırasıyla 0.002 ve 0.0417 ve 0.9312 olur. Geliş oranının ve sonucu durum olasılık değerlerinin artması kanalların daha etkin olarak kullanılmasını sağlar.

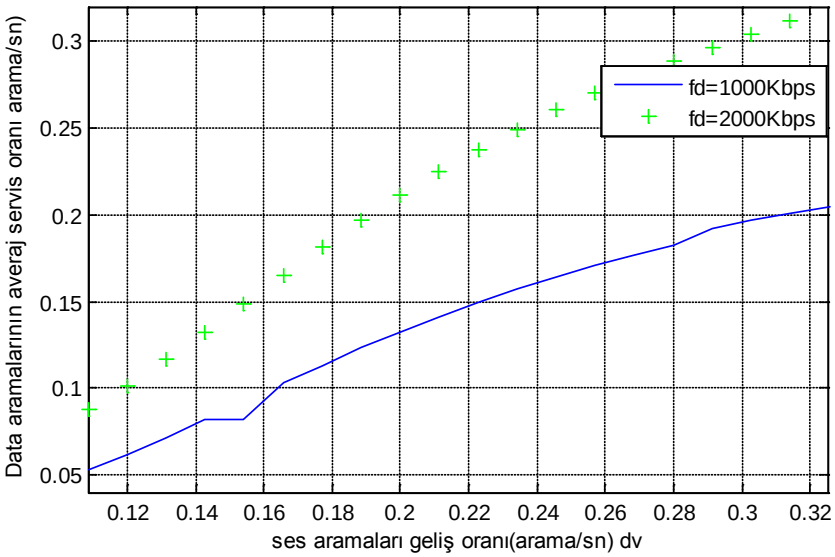
4.6 Sonuç

Çalışmada önerilen izin şeması ses ve veri aramaları arasında CP tamamen-bölüşümlü kaynak paylaşımı üzerinden kaynak tahsisi sağlamıştır. Bu yaklaşımın avantajı servisler arası bandgenişliği ayrımını kesin sınırlar içinde yapması ve büyük oranda QoS başarımı sağlamasıdır. Çalışmada hedeflenen QoS değerleri referans olarak alınan ses araması geliş oranında karşılanmıştır. Sayısal sonuçlardan görüleceği üzere verinin elastik (avaliable) bandgenişliği özelliği kullanılarak kanal kapasitesinin yüksek oranlarda kullanım etkinliği sağlanmıştır. Bir sonraki çalışmada hedeflenen araştırma

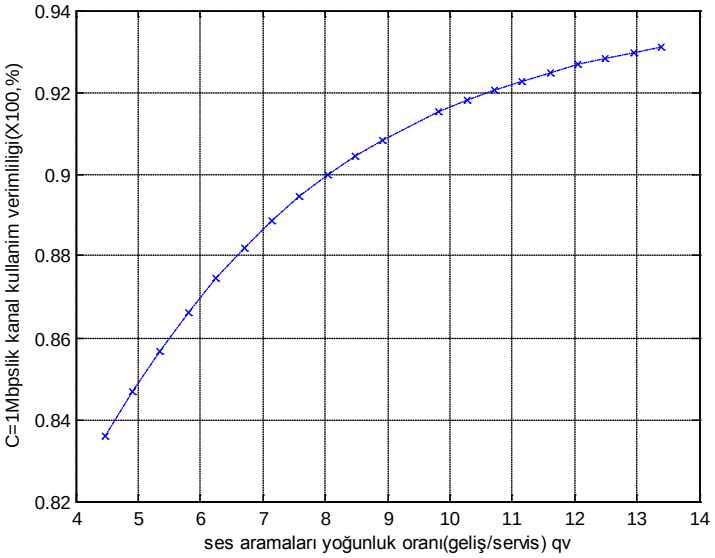
konusu tamamlayıcı ağlar olan hücresel ve WLAN kablosuz ağlar arasında ortak kaynak kullanımının nasıl başarılabileceğidir.



Şekil 4.6 Veri Aramalarının Düşürülme Olasılığı



Şekil 4.7 Veri Aramalarının Averaj Servis Oranı



Şekil 4.8 C Kapasitesinin Kullanım Etkinliği, η

5. HÜCRESEL MOBİL AĞLARDA SES/VERİ SERVİSLERİ İÇİN ARAMA İZİN KONTROL ŞEMASI

5.1 Sistem Modeli

Ses aramaları süresi ve hücre yerleşim zamanı $(\mu_{vr})^{-1}$, $(\eta_v)^{-1}$ ortalamalarla üssel olarak dağılırlar. Kanal işgal süresi $(\mu_v)^{-1} = (\mu_{vr} + \eta_v)^{-1}$ ortalama ile yine üssel olarak dağılır. Veri aramaları değişken bandgenişliği şartlarına uygunluk gösterebildiğinden, arama izin şeması yeni ve eldeğiştirme veri aramalarını hedeflenen düşürülme olasılığı değerinin altına inmeden sisteme kabul eder. Veri aramalarının arama süreleri hem kendilerine kalan bandgenişliğine hem de aramanın dosya olarak (kbps) uzunluğuna bağlıdır. Kanal işgal süresi ve hücre yerleşim zamanı $(\mu_d)^{-1} = (\mu_{dr} + \eta_d)^{-1}$ ve $(\eta_d)^{-1}$ ortalamaları ile üssel olarak dağılır.

5.2 Önerilen Kontrol Şeması

Çalışmada önerilen kontrol şemasının parametreleri Tablo 5.1'de verilen arama algoritması ile optimum olarak bulunmuştur. Önerilen şema RA kaynak paylaşım tekniğini kullanır. Öncelikli arama olan ses aramalarına kanalın belirli bir kısmını tahsis ederken o anda kalan bandgenişliği kullanımını da veri aramalarına tahsis eder. Önerilen şema hücresel ağa kabul edilen arama sayısını QoS için önceden belirlenen bloklanma ve düşürülme olasılığı gibi üst limit kısıtlarına göre sınırlar. Ses aramaları arama başına sabit r_v (kbps) bandgenişliğini kullanırlar. Veri aramaları ise o anda sistemde ses aramaları tarafından kullanılan bandgenişliğinden arda kalan bandgenişliğini kullanırlar. Veri aramaları M/G/K/1-PS kuyruk modeliyle modellenirler. $p_v(i)$ ve $p_d(j)$ sistemde *i*

adet ses ve *j* adet veri araması bulunması olasılıklarıdır. Toplam bandgenişliği *C*'dir. M_v sisteme kabul edilebilecek maksimum ses aramasını, T_v ise maksimum yeni ses araması sayısını belirtir. *K* sisteme kabul edilebilecek maksimum veri arama sayısını, K_d ise maksimum yeni veri araması sayısını belirtir. *Mv, T_v, K* ve K_d'nin değeri Tablo 5.1'de verilen arama algoritmasıyla optimum olarak belirlenir.

5.3 Optimal CAC Parametreleri

Ses ve veri aramaları için optimal CAC parametreleri Tablo 5.1'den aşağıda belirtildiği şekilde bulunabilir:

Tablo 5.1 İzin Control Parametreleri Arama Algoritması [Bozkurt vd., July 2010]

1. $M_{vmax}=C/r_v$;
2. if $BN_v(M_{vmax},0) > BN_{vmax}$ stop.
   else
   find minimum M_v subject to: $BN_v(M_v,0)<BN_{vmax}$,
   $1 \le M_v \le M_{vmax}$
3. if $BH_v<BH_{vmax}$ then $T_v=M_v$;
   else
   find maximum T_v subject to:$BH_v(M_v,T_v)<BH_{vmax}$,
   $1 \le T_v \le M_v$
4. K=1; $K_d=0$;
   Compute $E[T_d](K, K_d)$; compute $B_{nd}(K,K_d)$;
   By searching find the maximum K subject to:
   $BN_d(K, 0)< BN_d_max$
   $E[T_d] (K, 0) <T_d$ (upper)
   $K,K_d>0$, K,K_d: integer,
5. Compute $DH_d(K, K_d)$;
   By searching find the maximum K_d subject to:
   $DH_d (K,K_d)<DH_{dmax}$
6. Output (M_v, T_v, K, K_d) determined for optimal solution.

Adım 1: Kanalın ses aramalarına hizmet verebileceği en büyük arama sayısı minimum her bir arama başına düşen minumum ve sabit bandgenişliği gözönüne alınarak hesaplanır. Eğer bu sayı bile QoS için gerekli olan bloıklanma olasılığını aşağıya

çekemiyorsa algoritma durur. Nedeni hedeflenen üst limit bloklanma olasılığı için kaynakların yetersizliğidir. Adım 1'de bulunan ses aramaalrının maksimum sayısı M_{vmax} ile belirtilir.

Adım 2: M_{vmax} değeri her arama aralığında, bloklanma olasılığı gereken üst limit değerinden daha küçük bir değeri koruduğu sürece birer azaltılarak minimum M_v elde edilir.

Adım 3: T_v eşik değeri araştırılırken ilk önce T_v, M_v değerine eşitlenir ve M_v değerinden başlayarak her aramada bir azaltılır. T_v'yi bulma işlemi T_v'ye bağlı düşürülme olasılığının her arama aralığında kontrol edilip gereken üst limit değerinden küçük olması ile sona erer.

Adım 4: Sisteme kabul edilebilecek maksimum veri arama sayısı arama sayısının artmasıyla, bu artıştan ortalama veri arama cevap süresinin uzaması sonucunun arasında bir optimum nokta bulunmasıyla elde edilir. Her bir adımda iki kısıttan veri arama sayısını maksimum edecek sayı araştırılır.

Adım 5: K_d eşik değeri 4.adımda elde edilen toplam arama sayısının birer azaltılıp, gereken düşürülme üst limit değerini gözönüne alarak belirlenir.

5.4 Kararlı Durum Eşitliklerinin Çözümü için Analitik Model

Yeni ve eldeğiştirme ses ve veri aramalarının sisteme gelişleri Poisson Proses tanımlıdır ve sırasıyla λ_v, λ_{hv}, λ_d, λ_{hd} (arama/sn) ortalamalara sahiptirler.

i adet ses araması sistemdeyken bu aramaların sisteme getirdiği yük aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$\rho_v = \frac{\lambda_v + \lambda_{hv}}{\mu_v} \qquad (5.1)$$

Ses aramaları M/M/C/C kuyruk modeli ile modellenir ve $p_v(i)$ kararlı-durum olasılığı aşağıda verilir:

$$p_V(i) = \begin{cases} \dfrac{(\rho_V)^i}{i!} p_V(0) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \le i \le T_V \\ \dfrac{(\rho_V)^i [\alpha + (1-\alpha)\beta_V] \alpha^{i-Kd-1}}{i!} p_V(0) \ldots\ldots T_V + 1 \le i \le M_V \end{cases} \quad (5.2)$$

α eldeğiştirme ses trafiğinin gelen toplam ses aramalarına oranıdır. βv ise sistemde $i=Tv$ adet yeni ses araması varken sistemin bu yeni ses aramalarının kabul etme eşik sabitidir. $p_v(0)$ ise kararlı-durum olasılığını hesaplamada kullanılan normalleştirme katsayısıdır ve aşağıdaki gibi verilir:

$$p_V(0) = \left\{ \sum_{i=0}^{T_V} \frac{(\rho_V)^i}{i!} + \sum_{i=T_V+1}^{M_V} \frac{(\rho_V)^i [\alpha + (1-\alpha)\beta_V] \alpha^{i-T_V-1}}{i!} \right\} \quad (5.3)$$

Ses aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılıkları aşağıdaki şekilde bulunur:

$$BN_V^C = (1 - \beta_V) p_V(T_V) + \sum_{i=T_V}^{M_V} p_V(i) \quad (5.4)$$

$$DH_V^C = p_V(M_V) \quad (5.5)$$

BN_v yeni ses aramalarının bloklanma olasılığı, DH_v el değiştirme ses aramalarının düşürülme olasılığıdır.

Veri aramaları için, ortalama cevap süresi T_d, bloklanma ve düşürülme olasılıkları Bn_d ve DH_d, bir dosya olarak veri aramalarındaki ortalama servis oranı (arama/sn) ϒ performans değerlendirmesi için alınan ana ölçütlerdir. T_d cevaplama zamanı üssel olarak dağılır ve buna göre veri aramalarının analitik modellenmesinde M/G/1/K-PS kuyruk modeli veri aramalarının servis kapasitelerindeki değişmeler göz önüne alınarak kullanılır. Veri aramalarının servis gerekliliği $p_v(i)$ olasılıkla $(C\text{-}i.r_v)$ (kbps)'ye eşittir ($i=1,2,\ldots Mv$). Sistemde i adet ses araması varken bu aramaların kullandığı band genişliğinden kalan miktarı veri aramaları kullanır. Veri trafik yükü aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\rho_d(i) = \frac{\lambda_d f_d}{C_d(i)} \quad (5.6)$$

$$C_d(i) = C - ir_v \tag{5.7}$$

F_d (kbps) ortalama dosya büyüklüğüdür. $C_d(i)$ sistem i adet ses araması ile işgal edilmişken, veri aramalarına kalan ve mümkün olan kapasite miktarıdır. Buna göre veri aramalarının ortalama cevap süreleri aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$E[T_d] = \sum_{i=0}^{M_V} p_V(i) \frac{\rho_d^{K+1}(i)[(K\rho_d(i) - K - 1) + \rho_d(i)]}{\lambda_d(1 - \rho_d^K(i))} \tag{5.8}$$

Hücresel ağ sisteminin kararlı çalışabilmesi için sistemdeki veri aramaları trafik yükünün 1'den küçük olması gerekir. Daha büyük yük değerleri için sistem kararsızlığa gider ve veri aramaları cevap süresinin maksimum değeri belirlenen sınır sürelerinin dışına taşar. Ortalama veri aramaları trafik yükü ise sistemde i adet ses araması varken aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\rho_d = \frac{\lambda_d f_d}{\bar{C}_d} \tag{5.9}$$

$$\bar{C}_d = \sum i \; p_V(i) C_d(i) \tag{5.10}$$

$\bar{C}_d$ veri trafiğine kalan ortalama kapasitedir. j adet veri araması sistemde hazır iken, bu aramaların sistemde bulunma olasılıkları aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$p_d(j) = \frac{(1-\rho_d)\rho_d^j}{1-\rho_d^{j+1}} \text{.....} 0 \le j \le K \tag{5.11}$$

Veri aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılıkları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir:

$$BN_d^C = (1 - \beta_d) p_d(K_d) + \sum_{j=K_d}^{K} p_d(j) \tag{5.12}$$

$$DH_d^C = p_V(K) \tag{5.13}$$

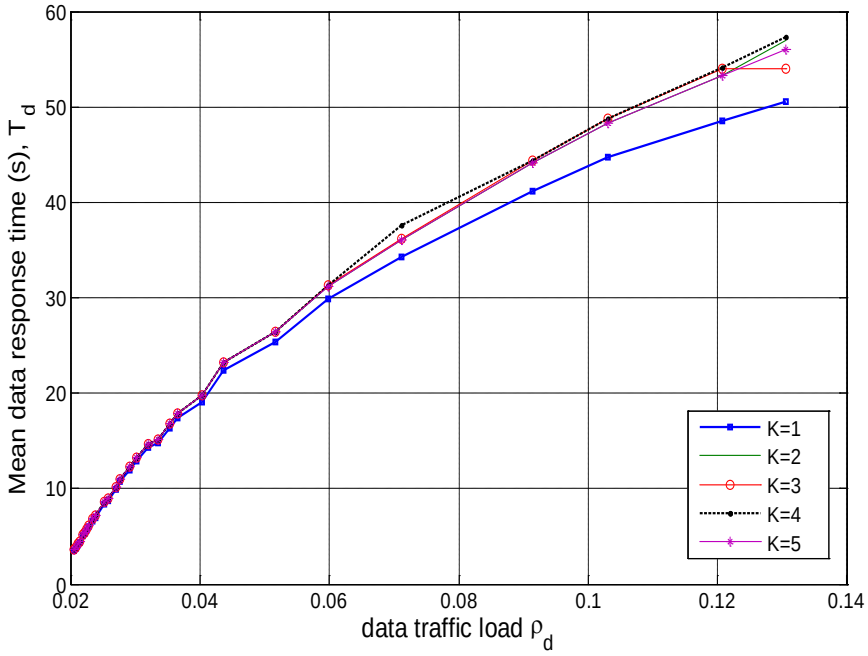
β_d sistemdeki yeni veri aramalarının sayısı $j=K_d$ olduğunda yeni aramaları kabul etmedeki eşik sabitidir.

Kanal kullanım verimliliği ise aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$\Gamma = 1 - p_d(0)\frac{\bar{C}_d}{C} \tag{5.14}$$

5.5 Sayısal sonuçlar

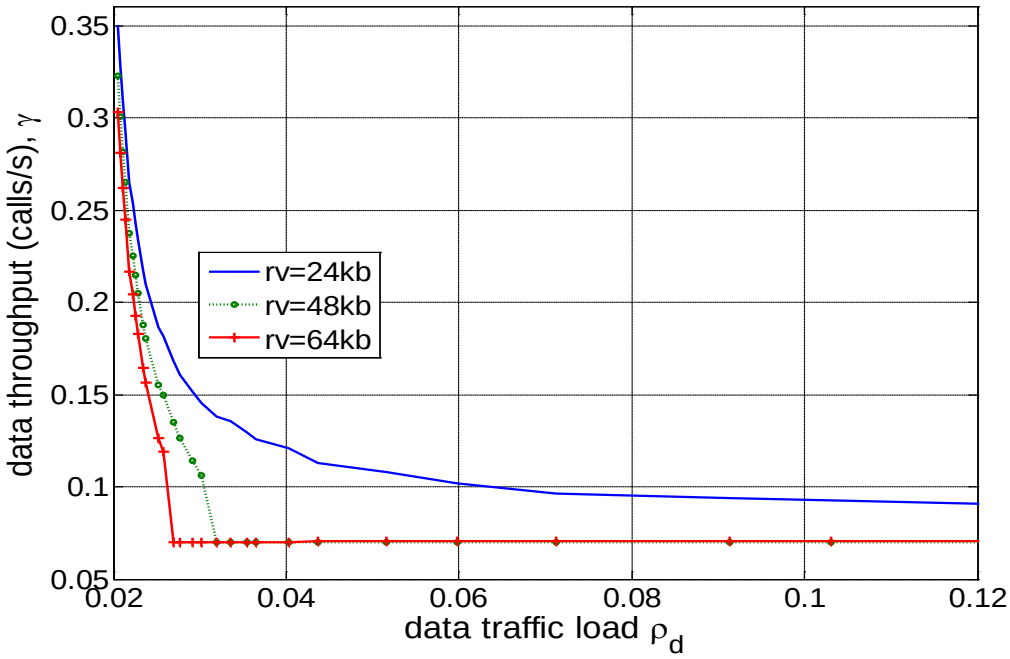
Önerilen izin şemasının geliştirilen ve yukarıda açıklanan analitik modelden elde edilen performans sonuçları Şekil 5.1-5.6 arasında sunulmuştur. Ses aramaları trafik yükü ve eldeğiştirme ses trafiğinin gelen toplam ses aramalarına oranı λ_v=0.108 için sırasıyla ρ_v=(0.108+0.0216)/0.007216=17.96 ve α=0.0216/(0.108+0.0216)=0.1666'dır. ρ_v'yi farklı değerlere ayarlayarak (10-80), sisteme kabul edilebilecek maksimum ses arama sayısı her bir değişen trafik yük değeri için ayrı ayrı bulunmuştur. ρ_v.'yi her değiştirdiğimizde veri aramaları trafik yükü ρ_d de değişmiştir. Her aralıkta veri arama sayısı K=K+1 olarak artırılmıştır. Şekil 5.1, ρ_d'nin fonksiyonu olarak K=1,2,3,4,5 için T_d cevap zamanını göstermektedir. Görüldüğü gibi trafik yükü ρ_d arttıkça Td cevap zamanı da üssel olarak artmaktadır. Veri cevap zamanı T_d en büyük değerini (T_d=56.0253 sn) ρ_d=0.1305 yük değerinde almıştır. Bu değer ρ_d'nin kritik değeridir. Çünkü bu trafik yük değerinden daha büyük bir veri trafik yükünü sistem karşılayamaz. Yeterli band genişliği yoktur.



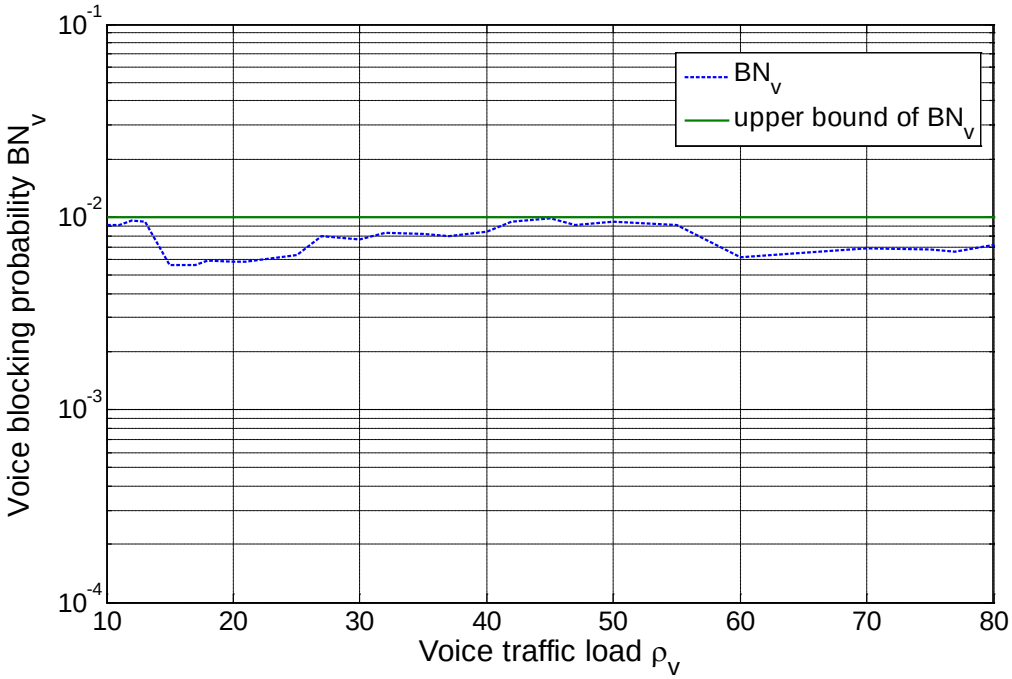
Şekil :5.1 Veri Trafik Yükü ρ_d'nin Fonksiyonu Olarak Veri Cevap Süresi T_d [Bozkurt vd., July 2010]

Şekil 5.2 ρ_d'nin fonksiyonu olarak veri aramaları servis oranını (arama/sn) göstermektedir. ρ_d arttıkça servis oranı γ de üssel olarak azalmaktadır. ρ_d =0.0228 değerinden sonra azalma hızı artmaktadır. Çünkü ağır yük durumunda ρ_d yükünün artış hızını sistem aynı hızla cevaplayamaz. Fakat çalışma yükü olarak seçilen ρ_d =0.0228 değeri için servis oranı yeterli büyüklüktedir. Çalışmada sistemin önerilen şemayla veri aramaları için sunduğu servis oranı γ ses aramalarının bandgenişliği ihtiyacı r_v'nin farklı değerleri r_v=24, 48, 64 KB için de değerlendirilmiştir. Servis oranı en yüksek γ =0.2173 (arama/sn) değeri ile r_v=24 KB'de ölçülmüştür.

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ise ρ_v'nin fonksiyonu olarak ses aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılık performanslarını göstermektedir. Bloklama olasılığı hedeflenen üst limitin (0.01) altında kalarak gerekli hedeflenen performansı gerçekleştirmiştir.

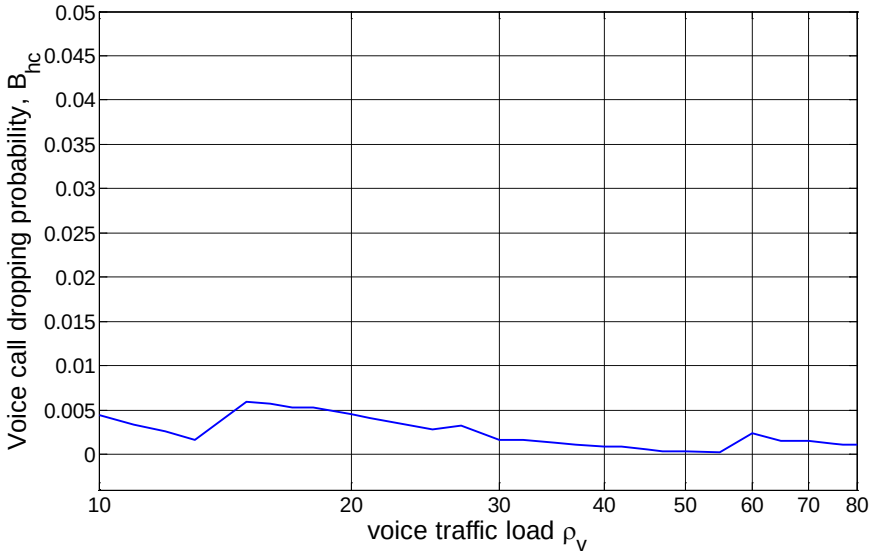


Şekil 5.2. Veri Trafik Yükü ρ_d'nin Fonksiyonu Olarak Servis Oranı [Bozkurt vd., July 2010]



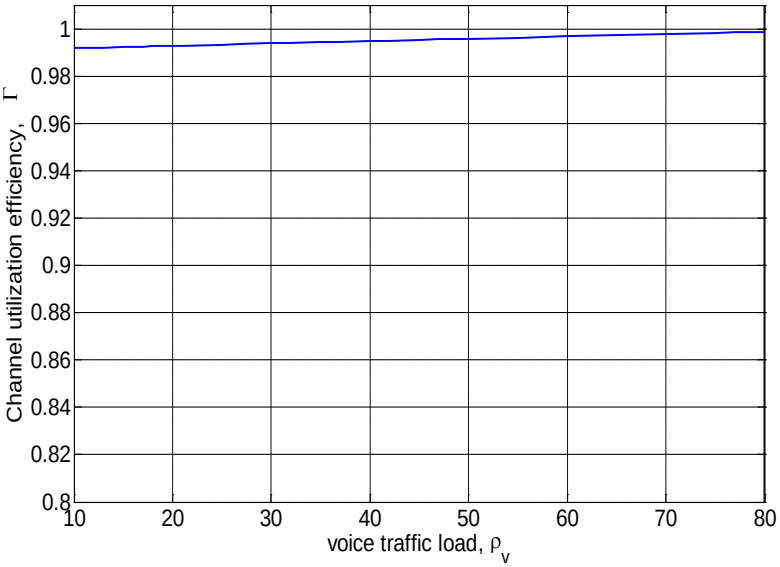
Şekil 5.3. Ses Trafik Yükü ρ_v'nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Bloklanma Olasılığı B_{nv} [Bozkurt vd., July 2010]

Düşürülme olasılığı da hedeflenen performans değeri (0.005) sağlamakla birlikte ρ_v yükünün $15 < \rho_v < 17$ aralık değerinde çok düşük miktar üst limit değerinin üzerine çıkmıştır.



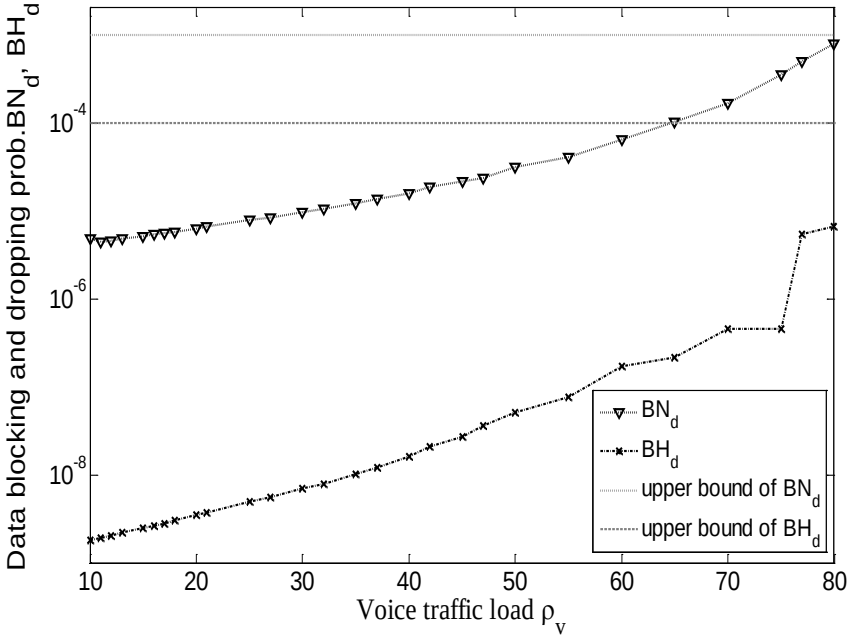
Şekil 5.4. Ses Trafik Yükü ρ_v'nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Düşürülme Olasılığı B_{hv} [Bozkurt vd., July 2010]

Şekil 5.5 önerilen izin şemasının kaynakları etkin kullanma oranını göstermektedir. Ses trafik yükü ρ_v arttıkça kaynak kullanım verimliliği 0.9918 ile 0.9984 arasında bire çok yakın bir oranda artarak değişmektedir.



Şekil 5.5. Kanal Kullanım Etkinliği (Γ) [Bozkurt vd., July 2010]

Şekil 5.6 ρ_v'nin fonksiyonu olarak veri aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılığını göstermektedir. *K*=5 değeri için bloklanma ve düşürülme olasılıkları üst limit kısıtları 0.01 ve 0.001 değerlerinin altında kalmaktadırlar. İzin verilen *K* veri arama sayısı arttırıldıkça bloklanma ve düşürülme olasılıkları da iyileşip azalmaktadır. Fakat artan veri arama sayısı kısıtlı band genişliğinde veri aramalarının ortalama cevap süresini de uzatmaktadır. Bu nedenle arama algoritması *K* için bloklanma ve düşürülme olasılık değerleri ile aramaların ortalama cevap süreleri arasında optimum sonucu verecek şekilde bir değer bulur.



Şekil 5.6 Veri Aramaları Bloklanma ve Düşürülme Olasılığı $BN_{d,}$ BH_d [Bozkurt vd., July 2010]

5. 6 Sonuç

Bu çalışmada hücresel ağlarda entegre ses/veri servisleri için bir arama izin şeması önerilmiştir. M_v, T_v değerleri izin şemasının prensiplerine göre optimal olarak bulunmuştur. Ses aramalarından kalan bandgenişliği veri aramalarına tahsis edildiği için, kalan bandgenişliğine E[T_d] ve BH_d kıstaslarına göre kabul edilebilecek veri arama sayısı belirlenmiştir. Veri arama sayıları Bhd kıstasına göre artabilirken, bu artş aramalrın cevap sürelerini uzattığından *K*=5' değerinden sonra E[T_d] kıstası ihlal

edildiğinden her iki QoS gerekliliği arasında optimal çözüm sağlanmıştır. *K*=5'den sonra cevap sürelerinin veri arama sayılarını ne kadar artırırsak artıralım değişmediğini belli bir değerde doyuma ulaşıp birleştiği ölçüldü. Bunun nedeni, veri aramalarına kalan band genişliğinin aramalara cevap vermemesidir. Ana performans karakteristiği önceliklerinden dolayı ses aramalarına bağlı olduğu için ses aramalarının sisteme kabul edilmeleri kısıtlarının doğru seçimi sistem performans ve kaynakların kullanımında önemli rol oynar.

6. SES/VERİ SERVİSLERİ İÇİN HÜCRESEL/WLAN ENTEGRE AĞLARDA KAYNAK TAHSİSİ

6.1 Trafik Model

Entegre ağ, hücresel kablosuz ağın kapasama alanı içersinde tek bir erişim noktasına sahip IEEE 802.11 WLAN ve hücrenin tam merkezinde yer alan baz istasyonuna sahip hücresel kablosuz ağdan oluşur. Hem yatay hem de dikey eldeğiştirme ses ve veri aramaları entegre sistemde kabul edilirken yalnızca dikey eldeğiştirme ses ve veri aramaları WLAN ağ kapsama alanında kabul edilebilir. Sistemin istatistiksel olarak eşitlik durumunda bulunduğu kabul edilmiştir. Yani sisteme gelen aramaların oranı sistemi terkeden aramaların oranına eşittir.

Hücresel ağda gelen aramalar ses, veri yeni ve eldeğiştirme aramalarıdır. Süregiden bir aramanın eldeğiştirme isteğinin reddedilmesi, yeni birarama isteğinin bloklanmasından daha önemli ve daha az istenen bir bir durum olduğu için toplam *C* (Mbps) kapasitesinin belirli bir kısmı yalnızca eldeğiştirme aramalarına tahsis edilir. Yeni ve eldeğiştirme aramalarının Poisson süreç tanımlı olduğu kabul edilmiştir. Ses aramalarının arama süreleri ve hücrede yerleşme zamanları sırasıyla (μ_{vr}^{c}) ve $(\eta_{v}^{c})^{-1}$ ortalamaları ile üssel dağılımlıdır. Kanal işgal süreleri ise $(\mu_{v}^{c})^{-1} = (\mu_{vr}^{c} + \eta_{v}^{c})^{-1}$ ortalama ile yine üssel olarak dağılmıştır. Veri aramaları ise arama izin şemasında önceden belirlenen bir bandgenişliği miktarının altına düşmeden değişen bandgenişliklerinde çalışmaya duyarlıdırlar. Veri aramaları için sistemde arama süresi (cevap süresi) hem o anda kendileri için mümkün bandgenişliğine hm de (kbps) cinsinden dosya boyutlarına bağlıdır. Son zamanda yapılan çalışmalarda veri aramaları için dosyaların uzunluğunun üssel olarak dağılım izlemediği gösterilmişse de çalışma kolaylığı açısından $(\mu_{d}^{Fd})^{-1}$

ortalama ile litaratürdeki kabul alınmıştır [Epstein ve Schwartz, 1995]. Aramaların hücre yerleşim ve kanal işgal süreleri de sırasıyla $(\mu_d^c)^{-1} = (\mu_{dr}^c + \eta_d^c)^{-1}$ ve $(\eta_d^c)^{-1}$ üssel dağılım izlerler.

WLAN ağda sesve veri aramaları erişim noktasına istek gönderirken tüm bandgenişliğini kullanmada eşit önceliğe sahiptirler. Bu tip erişim yönteminin CS kanal paylaşım tekniği olduğu yukarıda daha önce açıklanmıştı. WLAN ağ da CS kaynak paylaşım tekniğini kullanan izin şemalarından biri olan New Call Bounding şema yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Buna göre daha az öncelikli ve gerçek-zamanlı olmayan veri aramaları yalnızca *M* adet kanalı kullanabilirken, daha yüksek öncelikli ve gerçek-zamanlı aramalar olan ses aramaları kanalın tüm kapasitesini (C^w) yeterli kaynak olduğu sürece kullanabilirler. Yeni veri ve ses arama oranları, hücresel ağdan WLAN'e gelen eldeğiştirme veri ve ses arama oranları, veri ve ses aramaları arama süreleri, veri ve ses aramaları hücre yerleşim süreleri $\lambda_{d2}, \lambda_{v2}, \lambda_{hd}^{c-w} \lambda_{hv}^{c-w}, (\mu_{vr}^w)^{-1}, (\mu_{dr}^w)^{-1}, (\eta_d^w)^{-1}, \eta_v^w)^{-1}$ sırasıyla ortalamalar ile üssel olarak dağılırlar. Her iki arama için kanal işgal süreleri de $(\mu_d^w)^{-1} = (\mu_{dr}^w + \eta_d^w)^{-1}$ ve $(\mu_v^w)^{-1} = (\mu_{vr}^w + \eta_v^w)^{-1}$ ortalamalar ile yine üssel olarak dağılırlar.

6.2 Önerilen CAC Şeması

Entegre ağ performansını hedeflenen QoS başarımı için getirilen bloklanma olasılık değerleri, düşürülme olasılık değerleri, ortalama cevap süresi ve farklı iki erişim ağı arasında kaynak kullanımı gibi kısıtlar açısından değerlendirebilmek için aramaların servis farklılıklarına göre bir analitik model geliştitilmiştir. Arama izin şeması ise yeni ve eldeğiştirme aramalarını entegre ağa hedeflenen QoS başarımı çerçevesinde kontrollü kabul ederek aynı zamanda kaynak yönetimi işlevini de üstlenir.

Hücresel ağ kısmında tüm gerekli CAC parametreleri optimal olarak Tablo 5.1 'deki algortima ile belirlenecektir.

Önerilen şema aşağıda açıklanan hedefleri gerçekleştirmede kullanılır:

- İzin şeması hücresel ağ ve WLAN ağ arasında komplementar biçimde çalışmalıdır.
- Optimal CAC parametreleri belirlenmesini sağlamalıdır.
- Ses ve veri aramaları arasında servis farklılığı gözetimi yapmalıdır.
- Ses ve veri aramalarının trafik yük değişimlerini hesaba almalıdır.
- Farklı her iki ağ teknolojisi arasında etkin bir kaynak kullanımı sağlamalıdır.

Tablo 6.1 Önerilen CAC Şeması [Bozkurt vd., 2010]

When a call arrives to cellular network:
if (OR(the number of voice calls<T_v), (the number of veri calls<K_d)
admit the call
else if (new call in the both network coverage)&(WLAN capacity is sufficient)
admit the call to WLAN
else reject the call
if (OR(the number of voice calls<M_v), (the number of veri calls*<K)*
admit the call
else if (handoff call in the both network coverage)&(WLAN capacity is sufficient)
admit the callto WLAN
else reject the call
When a call arrives to WLAN:
if (the number of veri calls<M)
admit the call
else if (call in the both network coverage)&(Cellular capacity is sufficient)
admit the call to cellular network
else reject the call
if (the number of voice calls<C^w)
admit the call
else if (call in the both network coverage)&(Cellular capacity is sufficient)
admit the call to cellular network
else reject the call

Yalnızca hücresel ağın bulunduğu kapsama alanında ses ve veri aramaları hücresel sistem tarafından kabul edilir. Komşu hücreden bulunulan hücreye bir eldeğiştirme ses ya da veri araması hücrelerin sınırlarının geçilmesiyle istek oluşturduklarında yeterli haynak bulunduğu sürece bu yatay eldeğiştirme aramalarına cevap verilir. Eğer veri ve ses aramaları her iki ağın kapsadığı ortak alan içersinde bulunuyorsa her iki ağa

kaynakların yeterlilik durumlarına göre kabul edilirler. WLAN'den yalnızca hücresel ağın bulunduğu kapsama alanına geçişte arama isteği hücresel ağ tarafında izin şemasına göre kabul veya reddedilir. Önerilen izin şema prensibi Tablo 6.1'de verilmiştir.

6.3 Hücresel Ağ için Analitik Model

Hücresel sistemde yeni ses ve veri aramalrı, komşu hücresen bulunulan hücreye gelen yatay eldeğiştirme ses ve veri aramaları, WLAN'den hücresel ağa gelen dikey eldeğiştirme ses ve veri aramaları λ_v, λ_d, λ_{hd}^{c-c}, λ_{hv}^{c-c}, λ_{hd}^{w-c} ve λ_{hv}^{w-c} ortalamalarla Poisson Proses tanımlıdırlar.

Sistemde *i* adet ses araması olduğunda ses aramalarının sisteme getirdiği yük aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$\rho_V = \frac{\lambda_V}{\mu_V^C} \tag{6.1}$$

$$\lambda_V = \lambda_V^C + \lambda_{hv}^{c-c} + \lambda_{hv}^{w-c} \tag{6.2}$$

$$\lambda_{hv}^{w-c} = \lambda_V^w \frac{P_V^{w-c}(1-BN_V^w)}{1-P_V(1-DH_V^w)} \tag{6.3}$$

$$P_V^{w-c} = \frac{\eta_V^w}{\eta_V^w + \mu_{Vr}^w} \tag{6.4}$$

Pw-c WLAN'den hücresel ağa gelen ses aramalarının eldeğiştirme olasılığıdır. Ses aramaları $M/M/M_v/M_v$ kuyruğu ile modellenebilirler ve kararlı-durum olasılıkları *Pv(i)* aşağıdaki eşitllikle verilir:

$$p_V(i) = \begin{cases} \dfrac{(\rho_V)^i}{i!}\, p_V(0) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \le i \le T_V \\ \dfrac{(\rho_V)^i [\alpha + (1-\alpha)\beta_V] \alpha^{i-K_d-1}}{i!}\, p_V(0) \ldots\ldots T_V + 1 \le i \le M_V \end{cases} \quad (6.5)$$

α eldeğiştirme ses trafiğinin gelen toplam ses aramalarına oranıdır. β_v ise sistemde $i=T_v$ adet yeni ses araması varken sistemin bu yeni ses aramalarının kabul etme eşik sabitidir. $P_v(0)$ ise kararlı-durum olasılığını hesaplamada kullanılan normalleştirme katsayısıdır ve aşağıdaki gibi verilir:

$$p_V(0) = \left\{ \sum_{i=0}^{T_V} \frac{(\rho_V)^i}{i!} + \sum_{i=T_V+1}^{M_V} \frac{(\rho_V)^i [\alpha + (1-\alpha)\beta_V] \alpha^{i-T_V-1}}{i!} \right\} \quad (6.6)$$

Ses aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılıkları aşağıdaki şekilde bulunur:

$$BN_V^C = (1-\beta_V)\, p_V(T_V) + \sum_{i=T_V}^{M_V} p_V(i) \quad (6.7)$$

$$DH_V^C = p_V(M_V) \quad (6.8)$$

BNv yeni ses aramalarının bloklanma olasılığı, DH_v eldeğiştirme ses aramalarının düşürülme olasılığıdır.

Veri aramaları için, ortalama cevap süresi T_d, bloklanma ve düşüürlme olasılıkları BN_v ve DH_v, bir dosya olarak veri aramalarındaki ortalama servis oranı (arama/sn) ϒ performans değerlendirmesi için alınan ana ölçütlerdir. T_d cevaplama zamanı üssel olarak dağılır ve buna göre veri aramalarının analitik modellenmesinde M/G/1/K-PS kuyruk modeli veri aramalarının servis kapasitelerindeki değişmeler göz önüne alınarak kullanılır. Sistemde *i* adet ses araması varken bu aramaların kullandığı bandgenişliğinden kalan bandgenişliğini veri aramaları kullanır ve sistemdeki trafik yükleri aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\rho_d(i) = \frac{\lambda_d f_d}{C_d(i)} \quad (6.9)$$

$$\lambda_d = \lambda_d^c + \lambda_{hd}^{c-c} + \lambda_{hd}^{w-c} \tag{6.10}$$

$$\lambda_{hd}^{w-c} = \lambda_d^w \frac{P_d^{w-c}(1-BN_d^w)}{1-P_d^{w-c}(1-DH_d^w)} \tag{6.11}$$

$$P_d^{w-c} = \frac{\eta_d^w}{\eta_d^w + \mu_{dr}^w} \tag{6.12}$$

$$C_d(i) = C - ir_v \tag{6.13}$$

F_d ortalama dosya büyüklüğü (Mbps), P_d^{w-c} veri aramalarının WLAN'den hücresel ağa eldeğiştirme olasılığı ve ρ_d veri aramaları trafik yüküdür. $C_d(i)$ sistem i adet ses araması ile işgal edilmişken veri aramalarına kalan ve mümkün olan kapasite miktarıdır. Buna göre veri aramalarının ortalama cevap süreleri aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$E[T_d] = \sum_{i=0}^{M_V} p_V(i) \frac{\rho_d^{K+1}(i)[(K\rho_d(i) - K - 1) + \rho_d(i)]}{\lambda_d(1-\rho_d^K(i))} \tag{6.14}$$

Hücresel ağ sisteminin kararlı çalışabilmesi için sistemdekiş veri aramaları trafik yükünün 1'den küçük olması gerekir. Daha büyük yük değerleri için sistem kararsızlığa gider ve veri aramaları cevap süresinin maksimum değeri belirlenen sınır sürelerinin dışına taşar. Ortalam veri aramaları trafik yükü ise sistemde i adet ses araması hazırken aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\rho_d = \frac{\lambda_d f_d}{\bar{C}_d} \tag{6.15}$$

$$\bar{C}_d = \sum i \; p_V(i) C_d(i) \tag{6.16}$$

$\bar{C}_d$ veri trafiğine kalan ortalama kapasitedir. j adet veri araması sistemde hazır iken, bu aramaların sistemde bulunma olasılıkları aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$p_d(j) = \frac{(1-\rho_d)\rho_d^j}{1-\rho_d^{j+1}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \le j \le K \tag{6.17}$$

Veri aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılıkları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir:

$$BN_d^C = (1-\beta_d)p_d(K_d) + \sum_{j=K_d}^{K} p_d(j) \tag{6.18}$$

$$DH_d^C = p_V(K) \tag{6.19}$$

β_d sistemdeki yeni veri aramalarının sayısı $j=K_d$ olduğunda yeni aramaları kabul etmedeki eşik sabitidir.

6.4 WLAN Ağ Kısmı için Analitik Model

Durumları $(i,j)^w$ olan kararlı durum olasılığını bulmak için WLAN iki boyutlu Markov modeli ile modellenebilir. Buna göre bir veri araması WLAN'de yalnızca yalnızca toplam C^w kanaldan M adet kanal dolu (işgal edilmiş) ise reddedilir. Bu izin prensibi New Call Bounding şemanın arama izin kuralları dahilindedir. ρ_d^w ve ρ_v^w WLAN'de herhangi bir anda *i* adet veri, *j* adet ses araması bulunuyorken sisteme getirilen veri ve ses aramaları yükleridir. $p^w(i,j)$ WLAN'de *i* adet veri, *j* adet ses araması varken bu aramaların sistemde bulunma olasılıklarını temsil eder ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\begin{aligned} p^w(i,j) &= \frac{(\rho_d^w)^i}{i!}\frac{(\rho_v^w)^j}{j!}.p^w(0,0) \\ &= \frac{(\frac{\lambda_{d2}+\lambda_{hd}^{C-w}}{\mu_{d2}})^i}{i!}\frac{(\frac{\lambda_{v2}+\lambda_{hv}^{C-w}}{\mu_{v2}})^j}{j!}.p^w(0,0) \end{aligned} \tag{6.20}$$

6.20 numaralı eşitlikte i ve j $\left\{(i,j)|0\le i\le M, i+j\le C^w\right\}$ aralığında tanımlıdır ve $p^w(0,0)$ aşağıdaki eşitlikledir:

$$p^{w}(0,0)=\left[\sum_{i=0}^{M}\frac{(\rho_v)^i}{i!}.\sum_{j=0}^{C^w-i}\frac{(\rho_d)^j}{j!}\right]^{-1} \tag{6.21}$$

λ_{hd}^{c-w} ve λ_{hv}^{c-w} ise aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır:

$$\lambda_{hd}^{c-w}=[\lambda_v(1-BN_v^c)+\lambda_{hv}^{c-c}(1-DH_v^c)+\lambda_{hd}^{w-c}(1-DH_d^c)]P_d^{c-w} \tag{6.22}$$

$$\lambda_{hv}^{c-w}=[\lambda_v(1-BN_v^c)+\lambda_{hv}^{c-c}(1-DH_v^c)+{}_{hv}^{w-c}(1-DH_v^c)]P_v^{w-c} \tag{6.23}$$

P_d^{c-w} veri aramalarının hücresel ağdan WLAN'e eldeğiştirme olasılıklarıdır ve $P_d^{c-w}=(1-r).\frac{{}^{c}\eta_{d1}}{{}^{c}\eta_{d1}+{}^{c}\mu_{dr1}}$ ile gösterilir. P_v^{c-w} ise ses aramalarının hücresel ağdan WLAN'e eldeğiştirme olasılığıdır ve $P_v^{c-w}=(1-r)\frac{{}^{c}\eta_{v1}}{{}^{c}\eta_{v1}+{}^{c}\mu_{dv1}}$ ile gösterilir. r ise ses aramalarının hücresel sistemde bir hücreden komşu hücreye eldeğiştirme ile bir hücreden WLAN'e geçiş olasılığıdır. Mobilite parametresi olarak da adlandırılır. WLAN ağ için ses ve veri aramaları bloklanma ve düşürülme olasılıkları aşağıdaki eşitliklerle bulunur:

$$BN_v^w=DH_v^w=\sum_{i=0}^{M}p^w(i,C^w-M) \tag{6.24}$$

$$BN_d^w=DN_d^w=\sum_{j=0}^{C^w-M}p^w(M,j) \tag{6.25}$$

Ortalama veri aramaları cevap süresi ise WLAN'de aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$E[T_d^w] = \frac{E[j]}{H} = \frac{\sum_{j=0}^{M} jp_d^w(j)}{(1-BN_d^w)\lambda_{d2}+(1-BH_d^w)\lambda_{hd}^{c-w}} \quad (6.26)$$

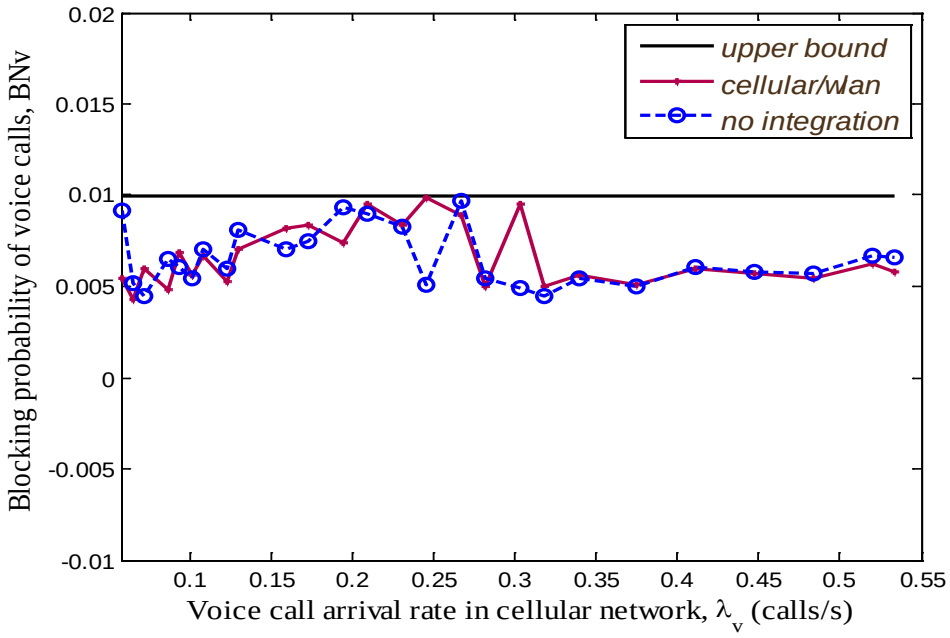
Ortalama veri arama sayısı ise aşağıda verilimiştir:

$$K_d^w = j.p^w(j) = \sum_{j=0}^{M} j \sum_{i=0}^{C^w} p^w(i,j) \quad (6.27)$$

6.5 Sayısal Sonuçlar

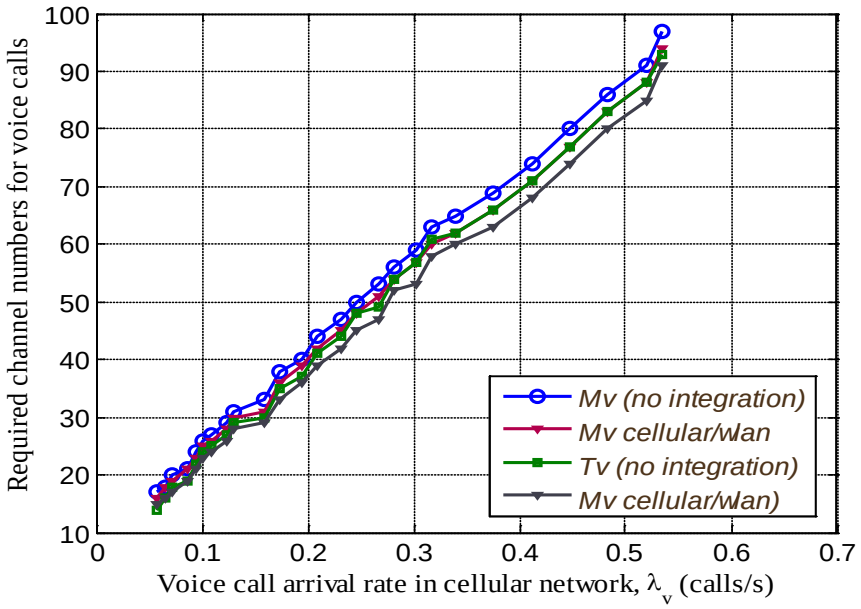
Analitik modelden elde edilen sonuçlar Şekil 6.1-6.8 arasında gösterilmiştir. Aynı zamanda entegre kablosuz ağ sistem performansı, entegrasyonun olmadığı ve yalnızca hücresel ağın bulunduğu sistemle karşılaştırıldı. Analiz parametreleri Tablo III'de verilmiştir. Sistem parametreleri de şu şekilde belirlenmiştir. C^w=50, *M=10,* $\mu_v^w = 0.00944$ arama/sn, $\mu_d^w = 0.039$ arama/sn, $\lambda_v^w = 0.072$, $\lambda_d^w = 0.052$ arama/sn, *r=0.8*. Ses aramaları geliş oranı artıkça hücresel ağdan WLAN'e daha fazla sayıda dikey eldeğiştirme veri ve ses araması gelir. Bu ise hücresel ağın trafik sıkışıklığını azaltır.

Şekil 6.1 hücresel ğadaki ses ramalarının blklanma olasılığını gösterir. Arama algoritmasında, gelen ses aramalarının oranı değiştiğinde sistem BNv oranının gereken üst limit dahilinde sürdürülebilmesi için gelen ses aramalarının kabulünde kısıta gider. Böylelikle sistemde üst sınır (0.01) aşılmamış olur.



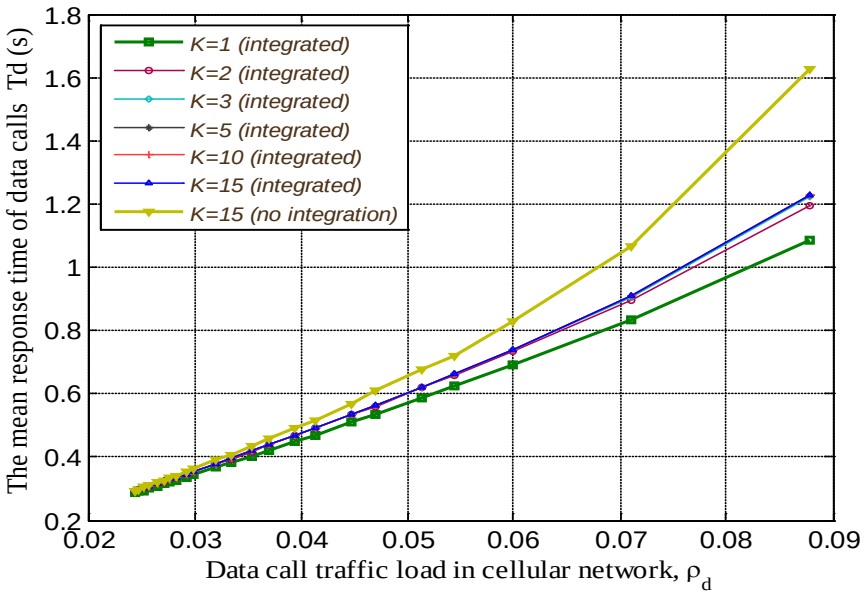
Şekil 6.1 Ses Aramaları Geliş Oranı λ_{v1} 'nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Bloklanma Olasılığı BN_v [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.2'de λ_v'nin bir fonksiyonu olarak M_v ve T_v kanal sayılarının maksimum değerleri gösterilmektedir. Entegre ağ hücresel/WLAN ağın yaknızca hücresel asistemin bulunduğu ağ şartlarına göre daha az sayıda kaynak dolayısı ile kanal gerektirdiği ölçülmüştür.



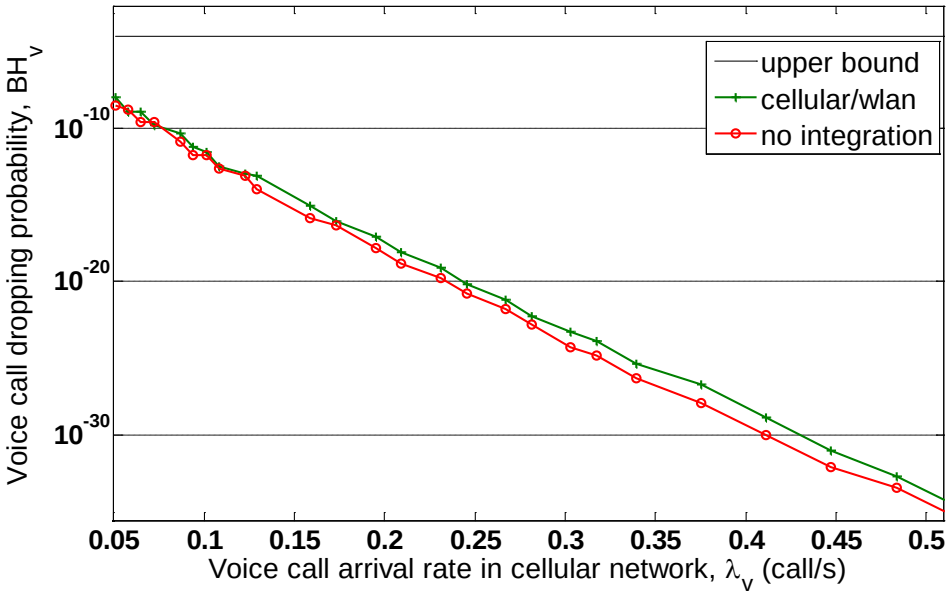
Şekil 6.2 Yeni ve Eldeğiştirme Aramaları için Gereken Kanal Sayıları M_v, T_v [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.3 veri trafik yükü ρ_d'nin bir fonksiyonu olarak ortalama veri aramaları cevap süresi T_d 'yi K=1, 2, 3, 4, 5, 10 ve 15 için ayrı ayrı hesaplanması sonuçlarını gösterir. Görüldüğü gibi ρ_d yükü arttıkça T_d süresi de artmaktadır. Entegre ağda en yüksek T_d değeri 1.2275 sn olarak yalnızca hücresel ağın bulunduğu şartlarda hesaplanan T_d süresinden (1.6458 sn) daha az bir zamanda aramayı (web tarama, e-mail, vb.) tamamlar. ρ_d=0.0879 kritik değerinden sonra artış üssel olduğu için cevap zamanı trafik yükü ile artık daha fazla zaman almaz. Veri trafik yükü ρ_d=0.0283 olduğunda karşılığı parametreler ρ_v=17.8338, M_v=28, T_v=26, β_v=0.6875 olarak bulunur. T_d *(upper)* altında K=15 olarak maksimize edilir.



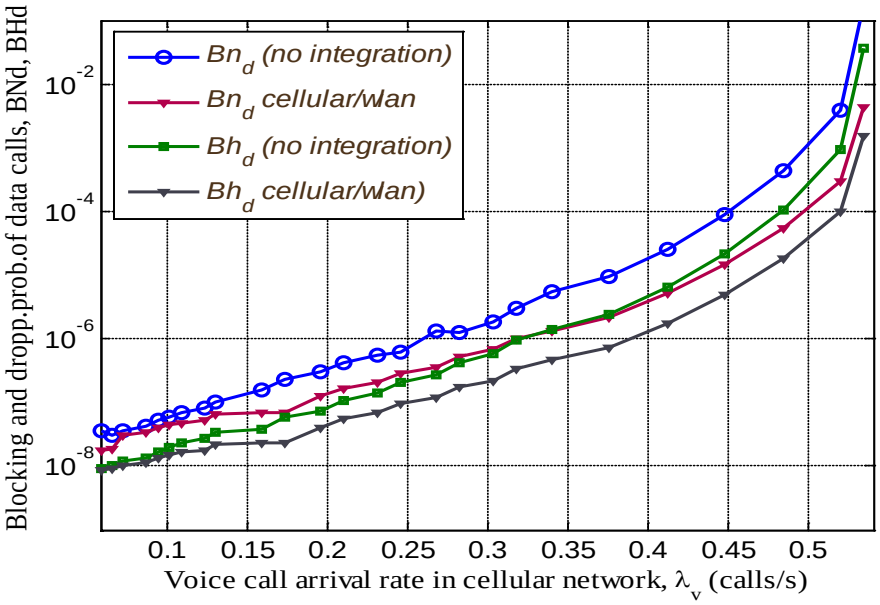
Şekil 6.3 Veri Trafik Yükü ρ_d'nin Fonksiyonu Olarak Veri Cevap Süresi T_d [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.4 λ_v'nin bir fonksiyonu olarak ses aramalarının düşürülme olasılığını gösterir. Şekilden de görüleceği üzere λ_v artıkça düşürülme olasılığı BH_v azalır ve hedeflenen üst limit (0.1%)'in altında olasılık değerleri taşır.



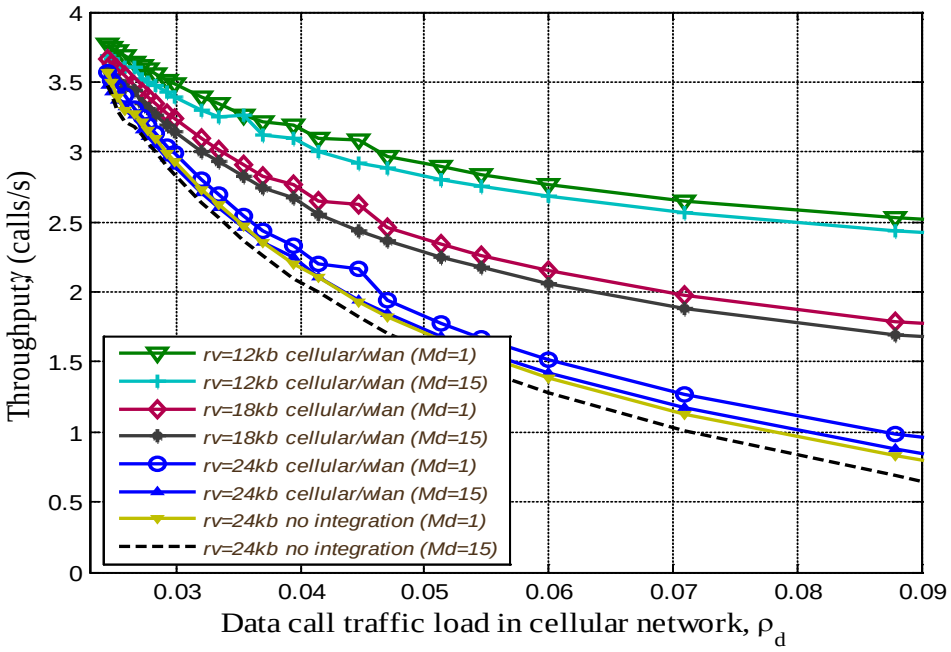
Şekil 6.4 Ses Aramaları Geliş Oranı λ_{v1} 'nin Fonksiyonu Olarak Ses Araması Bloklanma Olasılığı (BH_v) [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.5 yine ses aramalarının geliş oranı λ_v'nin bir fonksiyonu olarak veri aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılık değerleri BN_d ve BH_d'yi gösterir. λ_v arttıkça veri aramaları için kalan bandgenişliği aralığı azalır ve daha az sayıda veri araması kabul edilir. Çünkü hedeflenen veri aramaları performans kriterleri başarımı veri arama sayısı azalan bandgenişliği aralığında artıkça azalır. Dolayısıyla hem BNd hem de BHd λ_v'deki artışla birlikte artar. Bu artışa rağmen arama izin şeması belirlenen geliş aralığı için de izin kontrolünde yalnızca $\lambda_v \geq 0.5196$ için hedeflenen (0.001) değerini aşar.



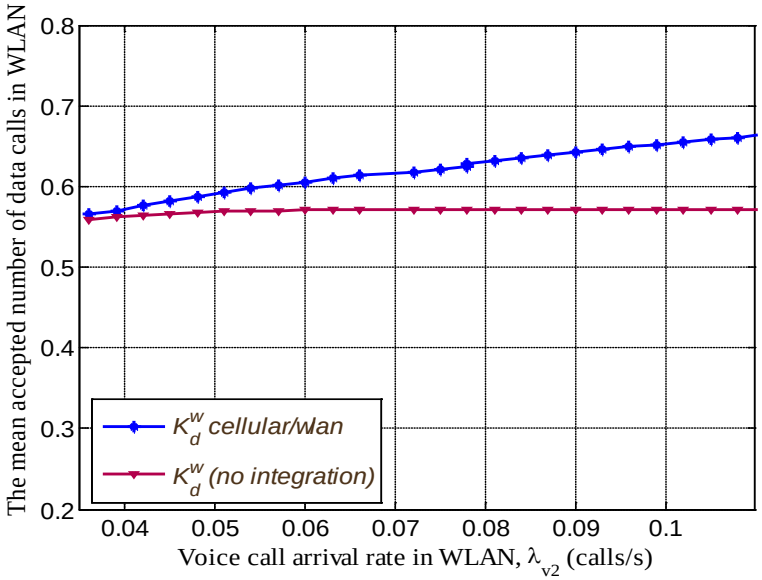
Şekil 6.5 Veri Aramaları Bloklanma ve Düşürülme Olasılığı BN_d, BH_d [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.6 veri aramaları trafik yükü ρ_d'nin bir fonksiyonu olarak M=1 ve M=15 için ortalama veri aramaları servis oranı (arama/sn) değerini göstermektedir. Veri aramaları trafik yük değeri ρ_d arttıkça ortalama servis oran değeri γ azalır. Özellikle ρ_d =0.0283 değerinden sonra azalma daha hızlıdır çünkü gelen artışa aynı oranda bandgenişliği ayıramadığı için sistem cevap vermez. Ortalama servis oranı ses aramalrı için gereken sabir bandgenişliği miktarı r_v'nin r_v=24 KB, 18 KB, 12 KB farklı değerleri için de gözlenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere r_v arttıkça γ değeri azalır ve en yüksek performans değeri γ =3.4888 ile r_v=12 KB ile ölçülmüştür.



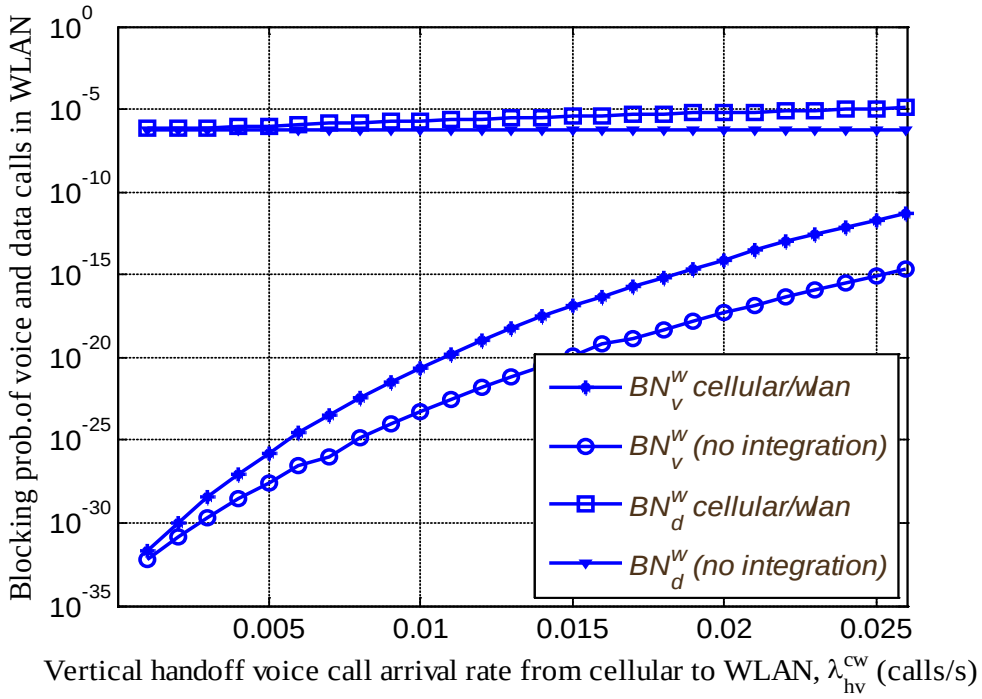
Şekil 6.6- Veri Trafik Yükü ρ_d'nin Fonksiyonu Olarak Servis Oranı [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.7 WLAN ağda *M*=10 iken kabul edilen ortalama veri aramaları sayısını gösterir. Entegre ağ durumunda hücesel ağa göre gelen ses aramalarının artışıyla ortalama kabul edilen veri arama sayısının daha yüksek değerde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.7 WLAN ağdaki ortalama veri araması sayısı [Bozkurt vd., 2011]

Şekil 6.8 hücresel ağdan WLAN'e gelen dikey eldeğiştirme ses aramaları λ_{hv}^{cw}'nin bir fonksiyonu olarak WLAN'de bulunan ses ve veri aramalarının bloklanma olasılıklarını göstermektedir. WLAN'e hücresel sistemden gelen aramalar arttıkça WLAN'in sistem performans değerlendirmesi açısından bloklama olasılığı da şekilden de görüleceği üzere yalnızca hücresel sistemin bulunduğu duruma göre çok düşük bir farkla da olsa artar. Fakat yine de sistem hedeflenen (0.001) üst bloklanma olasılık değerinin altında bir performans başarımını tüm farklı geliş oranları skalasında gerçekleştirir.



Şekil 6.8 Veri aramalarının bloklanma ve ses aramalarının düşürülme olasılıkları Bozkurt vd., 2011]

6.7 Sonuç

Bu çalışmada, entegre hücresel/WLAN ağlarda ses ve veri aramaları için bir arama izin şeması önerilmiştir. Hücresel ağdan WLAN'e yeterli bandgenişliği bulunmadığından dolayı ses ve veri eldeğiştirme trafiği arttığında WLAN'den hücresel ağa da eldeğiştirmelerin gelen bu yeni trafikle birlikte arttığı görülmüştür. Analitik

modelde, bu karşılıklı trafik yük paylaşımını entegre ağın teklif ettiği ortalama yük değeri üzerindeki etkisini göz önüne alarak M_v, T_v, K,K_d izin parametreleri her arama adımında optimal olarak as E[T_d], BN_d^c , DH_d^c .QoS kıstasları altında belirlenmiştir. Arama izin şemasının servis oranı, cevap zamanı, bloklanma olasılığı, düşürlme olasılığı gibi istenen tüm QoS üst limit değerlerini karşıladığı gösterilmiştir. Ayrıca hücresel ve WLAN ağları arasında kaynak paylaşımı ile daha iyi bir sistem performası sergilediği yalnızca hücresel sistemin mevcut bulunduğu sistemle performansı ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

7. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında kablosuz hücresel ve heterojen ağlarda çoklu servisler için arama izin şemaları yolu ile kaynak paylaşımı ve QoS sağlama problemi araştırılmıştır. QoS, bloklanma olasılığı, düşürülme olasılığı, kanal kullanım etkinliği, servis oranı (arama/sn), cevap zamanı gibi performans ölçütlerine dayanan arama seviyesinde ele alınmıştır. Heterojen ağda kaynak paylaşımı için arama izin şeması ile trafik yükleri her iki hücresel ve WLAN ağda izin şeması kuralları gereğince uygun olan ağa yönlendirilerek kaynakların etkin kullanımı ve QoS başarımı gerçekleştirilmiştir.

İlk önerilen şemada, hücresel ağlarda CP kaynak paylaşım tekniği yaklaşımı kullanılarak ses ve veri servisleri arasında, artan geliş oranları (arama/sn) altında kaynak paylaşımı problemi çalışılmış; geliştirilen analitik modelden hesaplanan sonuçlara göre hedeflenen QoS ölçütlerinden bloklanma olasılığının üst değer (0.27)'e çok yakın olarak (0.2765) olarak, düşürülme olasılığının ise üst değer (0.05)'e yakın olarak (0.0608) değerinde gerçekleştiği gösterilmiştir. Veri aramaları için performans kriterlerine bloklanma olasılığına ek olarak servis oranı (arama/sn) da eklenmiş, bu ölçüt iki farklı veri dosyası (1000 kbps ve 2000 kbps) için değerlendirilmiştir. Boyutu daha büyük olan veri dosyası durumunda gerekli servis oranının daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Sistem kullanım etkinliğinin ise CP kaynak paylaşım tekniği ve önerilen izin şeması altında çok yüksek (1'e yakın) olduğu görülmüştür. Ayrıca geliş oranı ile bloklanma ve düşürülme olasılıklarının doğru orantılı olarak arttığı da gösterilmiştir. Matematiksel model, analitik olarak iki boyutlu Markov Zinciri yolu ile geliştirilmiştir. İzin şeması

gelen aramaları hücresel ağa kabul ederken kaynak olarak kullanılan ses ve veri kanalları sayıları sabit olarak alınmıştır. Dolayısı ile sisteme gelen arama sayılarının artışı sistemdeki trafik yükünün artışını getirmiş, sistem dinamik olarak bu sabit kanal sayılarını değiştirmediğinden bloklanma ve düşürülme olasılık değerlerinin de arttığı görülmüştür. İkinci önerilen şema bu durumu geliştirmeye yönelik olarak kullanılan ses ve veri kanal sayılarını gelen arama sayılarının artışına paralel olarak optimal olarak arama algoritması yardımı ile belirlemiştir. Algoritmada kanal sayıları, eşik kanal sayıları gibi parametrelerin belirlenmesinde göz önünde alınan ölçüt ve kıstaslar her iki servis için bloklanma, düşürülme olasıkları ve cevap zamanı gibi arama seviyesi QoS kriterleridir. Optimal parametrelerin belirlenmesi, sonuçlara ses aramalarının bloklanma olsılığının gelen tüm arama değerlerinde (arama/sn) hedeflenen (0.01) değerinin, düşürülme olasılığının ise hedeflenen (0.005) değerinin altında kalması şeklinde yansımıştır. Veri aramalarının bloklanma ve düşürlme olasıkları da sırasıyla hedeflenen (0.01 ve 0.001) değerlerinin altında kalarak çok daha fazla veri aramasının sisteme kabul edilmesine izin verilmiştir.

Veri cevap zamanı Td'nin gelen veri aramaları trafik yükü artışıyla beraber üssel olarak arttığı gözlenmiştir. Trafik yükü artsa da bu yükün belli bir kritik değerinden (ρ_d=0.1305) sonra artık T_d 'nin artmadığı görülmüştür. Bu sistemde servis verebilecek yeterli kaynağın olmadığını gösterir. Bu noktada veri aramalarının bloklanma olasılığını da beraber düşünerek, izin şeması veri cevap zamanını sisteme kabul edilecek veri aramalarının optimal sayısının belirlenmesinde ana kriter olarak kullanılmıştır. Bu şemanın kaynak kullanımını iyileştirmek amacı ile hücresel ağın WLAN kablosuz ağ ile birlikte entegre olarak çalışması araştırılmıştır. Hücresel/WLAN entegre ağda dikey eldeğiştirme aramaları göz önüne alınarak analitik model geliştirilmiş, ses aramaları için tek boyutlu Markov modeli M/M/C/C, veri aramaları için ise tek boyutlu Markov modeli M/G/1/K-PS kuyruk modeli yaklaşımı ile modellenmiştir. Gelen ses aramaları oranı arttıkça optimal olarak gerekli kanal sayısı belirlenirken entegre ağda aynı arama oranları için entegre ağın daha az sayıda kaynak (kanal) gerektirdiği gözlenmiştir. Tersinden söylenirse, aynı ses ve veri kanal sayısı için entegre ağlar daha fazla kullanıcıya servis verme kapasitesine sahiptir. Bu sonuç gerekli kanal sayılarının analitik modelden hesaplanması yolu ile değişken yük altında gösterilmiştir. Entegre

ağın bir diğer iyileştirici yönü ses aramaları düşürülme olasılığı değerinin hedeflenen değerin (0.01) ikinci önerilen şemaya göre çok daha alt değerlerde başarılmasıdır. WLAN ağın da tek başına ve entegre yapıda kullanıldığı durumlarda performansı ortalama kabul edilen veri aramaları sayısı ve veri aramalarının bloklanma ve düşürülme olasılığı bakımından araştırılmıştır. Sonuçlar, entegre ağ durumunun WLAN kablosuz ağın tek başına kullnaıldığı duruma göre sisteme daha fazla veri araması kabul edebildiğini ve hedeflenen (0.01 ve 0.001) QoS değerlerinden daha düşük oranlarda bloklanma ve düşürülme gerçekleştiğini göstermektedir.

Gelecekteki çalışmalarda bu tezde önerilen arama izin ve kaynak paylaşım şemalarının uygulamada kullanımında daha kesin sonuçlar alabilmek için geliş arama oranlarının ve kanal işgal sürelerinin doğru bir kestirim ve tahminini sağlayacak teknikler araştırılmalıdır. Yine eldeğiştirme aramalarının toplam aramalar içindeki oranı, hücre yarıçapı, kullanıcıların ortalama hızı, hücre yerleşim süresi, kanal işgal süresi göz önüne alınıp bir hareketlilik modeli geliştirilerek belirlendiğinde uygulamada daha yüksek bir başarım elde edilebilir. Ayrıca entegre ağda WLAN ağların sayısı artırılarak, WLAN kablosuz ağlar arasında da bir yatay eldeğiştirme analitik modelde hesaba alınabilir. İki servis için çalışılan tez, video akışı da servis sınıflarına katılarak izin şeması ve kaynak paylaşım şeması performansı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] 3GPP, (Dec. 2005), "Quality of service (QoS) and policy aspects of 3GPP - wireless local area network (WLAN) interworking (Release 7)," 3GPP TR 23.836 V1.0.0.

[2] Anand, S., Sridharan, A. Vve Sivarajan, K.N. (2003), "Performance analysis of channelized cellular systems with dynamic channel allocation", Transaction on Vehicular Technology, Vol. 52, No.4, pp. 847-859.

[3] Ata, O.W. (1998), "Effect of Power Change from Interferer Sources on the CDF Probability in a Mobile Radio Cellular System", In Proceedings of International Conference on Universal Personal Communications, pp. 217-221.

[4] Bozkurt, A., Akdeniz, R. ve Uçar, E. (July 2010), "Call Admission Control Policy for Integration of Voice/Data Traffic in Cellular Mobile Networks", In Proceedings of 2nd International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks **(CICSyN 2010),** pp. 384-388.

[5] Bozkurt, A., Akdeniz, R., Uçar, E. (April 2010), "Entegre Ses/Veri Hücresel Kablosuz Ağlarda Servis kalitesi ve Kanal Tahsisi", 18. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU2010), pp. 590-593.

[6] Bozkurt, A., Uçar, E., Akdeniz, R., (October 2010), "Performance analysis for resource management in integrated cellular/WLAN networks', In Prooceedings of 3rd IEEE International Conference on Broadband Network&Multimedia Technology (IC-BNMT 2010), pp. 608-613.

[7] Bozkurt, A., Uçar, E. ve Akdeniz, R. (2011), "Resource Allocation for Integrated Voice and Data Services in Cellular/WLAN Networks", CHINA COMMUNICATIONS,

(Accepted).

[8] Bozkurt, A., Uçar, E., Akdeniz, R. (2009), 'Kablosuz Ağlarda Kaynak yönetimi', Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 10 No. (2), 00-00-2009.

[9] Cai, J. (2010), "A Dynamic priority time-threshold-based queuing scheme for cellular multimedia Networks", In Proceedings of 6th Wireless Communications

Networking and Mobile Computing, pp. 1-4.

[10] Chang, C.-S. ve Thomas, j. A. (Agust 1995), “Effective bandwidth in high speed digital networks“, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, (13):1091-1100.

[11] Chang, C.-S., Chen, K.-C., You, M.-Y. ve Chang, J.-F. (January 1997), “Guaranteed quality-of-service wireless Access to ATM Networks”, IEEE Journal on Selected Areas in communications”, 15(1):106-117.

[12] Chen, H., Kumar, S. ve Kuo, C.-C.J. (March 2002), “Dynamic call admission control scheme for QoS priority handoff in multimedia cellular systems”, In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Vol. 1, pp. 114-118.

[13] Chen, H.-H. ve Guizani, M. (2006), “Next Generation Wireless Systems and Networks, John WileySons.

[14] Chen, M., Liu, G., Zhu, G. ve Zhu, X. (2008), “A Novel Internetworking Architecture between WLAN and UMTS Cellular Networks using RoF Technique”, In Proceedings of Conference on Circuits and Systems for Communications, pp.693-697.

[15] Chen, X. ve Fang, Y. (December 2003), “An adaptive bandwidth reservation scheme in multimedia wireless networks”, IEEE Globecom’2003, pp. 2830-2834.

[16] Choi, J., Mount, T. D., Thomas, R. J. ve Billinton, R. (2006), “Probabilistic reliability criterion for planning transmission system expansions, “In Proceedings of IEE Generation, Transmission and Distribution”, Vol. 153, No. 6, pp. 719-727.

[17] Choi, W., Andrews, J.-G. ve Heath, R.W. (2007), “Multiuser Antenna Partitioning for Cellular MIMO–CDMA Systems”, Transaction on Vehicular Technology, Vol. 56, No. 5, pp. 2448-2456.

[18] Chou, C. T. ve Shin, K. G. (2004), “Analysis of adaptive bandwdth allocation in wireless networks with multilevel degradable quality of service”, IEEE Transactions on Mobile Computing, 3(1):5-17.

[19] Cooper, R. B. (1981), Introduction to Queuing Theory, North Holland.

[20] Demestichas, P. (August 2003), “Managment of Networks and Services in a Composite Radio Context”, IEEE Wireless Communications, Vol.10, no. 4, pp.44-51.

[21] Deniz, D. Z. ve Mohamed, N. O. (December 2003), "Performance of CAC strategies for multimedia traffic in wireless Networks", IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 21, no. 10, pp. 1557-1565.

[22] Dziong, Z. ve Mason, L. (February 1996), "Fair-efficient call admission control policies for broadband networks-a game theoric framework", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.4, No.1, pp. 123-136.

[23] Epstein B. ve Schwartz M. (July 1995), "Reservation Strategies for Multimedia Traffic in a Wireless Enviroment", In Proceedings of the IEEE 45th Vehicular Technology Conference, pp. 165-169.

[24] ETSI, (1999), Broadband Radio Access Networks (BRAN); Requirments and Architectures for Wireless Broadband Access. TR 101 031 (1999-01), V.1.1.1.

[25] ETSI, (Sep 2000) GSM 03.60, 'General Packet Radio Service (GPRS); Service Description, Stage 2," v7.41.

[26] European IPv6 Task Force, IPv6 TF-SC Consortium, Workshop Industry Focus, Paris, June, 27-28, 2006.

[27] Everitt D., (December 1990), "Traffic capacity of cellular mobile communications systems", Computer Networks and ISDN Systems, (20):447-454.

[28] Fang, Y. ve Chlamtac, I. (1999), " Teletraffic analysis and mobility modeling of PCS Networks", Transactions on Communications, pp. 1062-1072.

[29] Fang, Y. ve Zhang, Y. (March 2002), "Call admission control schemes and performance analysis in wireless mobile Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 51(2):371-382.

[30] Ferrus R., Sallent O. ve Agusti R. (April 2010), "Interworkıng in Heterogeneous Wireless Networks: Comprehensive Framework And Future Trends", IEEE Wireless Communications. Vol. 17, No. 2, pp. 22-31.

[31] Finneran, M.F. (2007),Voice over WLANs: The Complete Guide, Elsevier.

[32] Fruskar, A. ve Zander, J., (2005), "Multiservice Allocation for Multiaccess Wireless Systems", Transaction on Wireless Communications, Vol. 4, No. 1, pp. 174-184.

[33] Gaasvik, P. O., Cornefjord, M. ve Svensson V., (1991). “Different methods of giving priority to handoff traffic in a mobile telephone system with directed retry”, In Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 549-553.

[34] Gersht, A. ve Lee, K. J. A. (1990), “A bandwidth management strategy in ATM Networks”, Technical Report, GTE Laboratories

[35] Gramakov, Y., Shevtsov, V. (11-13 December 2008), “Integrated networks of wireless and fixed telecommunication”, In Proceedings of ICTON Mediterranean Winter Conference, pp. 1-3.

[36] Guerin R. A. (1988), “Queuing-blocking system with two arrival streams and guard channels”, IEEE Transactions on Communications. 47(1):89-102.

[37] Haung, Y.-R., Lin, Y.-B. ve Ho, J. M. (February 2000), “Performans Analysis for voice/veri integration on a finite mobile systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 49(2), pp. 367-378.

[38] Hong D. ve Rappaport S.S. (Agust 1986), “Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 35(3):77-92.

[39] Huang L., Kumar S. ve Kuo, C.-C. (2004), “Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 53(2), pp. 547-558.

[40] Hui, S.Y. ve Yeung, K.H. December (2003), “Challanges in the migration to 4G mobile systems. IEEE Communacations”, Vol.41, No.12, pp. 54-59.

[41] Hyman, J. M., Lazar, A. L., Pacifici, G. A. (May 1993), “A separation principle between scheduling and admission control for broadband swiching”, IEEE Selected Areas on Communications, Vol.11, No. 4, pp. 605-616.

[42] Jorguseski, L., Fledderus, E., Farserotu, J. ve Prasad, R. (2001), “Radio Resource Allocation in Third-Generation Mobile Communication Systems”, IEEE Communication Magazine, Vol. 39, No. 2, pp. 117-123.

[43] Kalikivayi, S., Misra, I.S., Saha, K. (Dec. 2008), “Bandwidth and Delay Guaranteed Call Admission Control Scheme for QOS Provisioning ”, GLOBECOM 2008, pp. 1-6.

[44] Kamel, G., Mihaliovic, A., Aghvami, A. H. (2009), “A cost-optimal QoS aggregation Policy for network mobility: Analysis and performance comparisons”, Vehicular Technology, Vol. 58, No. 7. pp. 3547-3557.

[45] Karmakar, G., Dooley, L.S. (2008), Mobile Multimedia Communications:Concepts, Applications and Challenges, IGI Global.

[46] Katzela, I. ve Naghshineh, M. (June 1996), “Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: A comprehensive survey”, IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 3, issue 3, pp. 10-31.

[47] Kesids, G., Wairand, J. ve Chang, Cheng.-S. (Agust 1993), “Effective bandwidths for multiclass Markov fluids and other ATM sources”, IEEE Transactions on Networking, 1(4):424-428.

[48] Klein T. E., ve Han S.-J. (June 2004), “Assignment strategies for mobile veri users in hierarchical overlay networks: performance of optimal and adaptive strategies”, IEEE Journal of Selected Areas on Communications, Vol. 22, No. 5, pp. 849-861.

[49] Kleinrock, L.(1996), Queuing Systems Volume I: Theory, Wohn Wiley&Sons, Inc.

[50] Kraimche, B., Schwartz M. (1984), “Circuit access control strategies in integrated digital Networks”, IEEE INFOCOM’84. 230-235.

[51] Kwon, T., Choi, Y., Bisdikian, C. ve Naghshineh M., (September 1990), “Measurement-based call admission control for adaptive multimedia in wireless/mobile Networks”, In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Vol. 2, pp. 540-544.

[52] Kwon, T.,Choi, Y., Bisdikian, C. V ve Naghshineh, M. (2003), “Measurement-based call admission control for adaptive multimedia in wireless/mobile networks using an adaptive framework”, Kluwer Wireless Networks. (9): no.1:51-59, 2003.

[53] Lagrange X., Jabbari B., (May 1998), ”Fairness in wireless microcellular Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 47(2), pp. 472-479.

[54] Lee W., **Wireless and Cellular Telecommunications, 2006, Mc-Graw Hill.**

[55] Lee, S., Sriram, K., Kim, K.,Kim ve Y. H., Golmie, N. (2009), "Vertical Handoff Decision Algorithms for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks", Transaction On Vehicular Technology, Vol. 58, No. 2, pp. 865-881.

[56] Li, B., Li, L.-Z., Li, B. ve Cao, X.-R. (July 2003) "On handoff performance for an integrated voice/veri cellular system", Wireless Networks, Vol.9 no. 4, pp. 393-402.

[57] Li, J., Ness, B. S. Ve Chong, E. K. P. (1999), "A new localized channel sharing scheme for cellular Networks", ACM/Baltzer Wireless Networks, 5(6):503-517.

[58] Li, J., Ness, B. S. ve Chong, E. K. P. (1998), "A Channel sharing scheme to improve system capacity and quality of service in wireless cellular Networks", In Proceedings of the Third IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 700-704.

[59] Li, W. ve Alfa, A. S. (January 2000), "Channel reservation for handoff calls in a PCS network", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 49(1):95-104.

[60] Ma, Y., Han, J. J. ve Trivedi, K. S. (May 2002), "Call admission control for reducing dropped calls in CDMA cellular systems", Computer Communications, Vol.25, No. 7, pp. 689-699.

[61] Makaya C., S. Pierre, (March 2007), "An Interworking Architecture for Heterogeneous IP Wireless Networks", In Proceedings of the ICWMC'07, pp. 16-22.

[62] Mandal, S., vve Saha, D., (2005), "An Efficient Technique for Dynamic Channel Allocation (DCA) in Mobile Cellular Networks" In Proceedings of International Conference on Personal Wireless Communications, pp. 470-473.

[63] Maniatis, S. I., Nikolouzou, E. G. ve Venieris, I. S. (Aug 2002), "QoS issues in the converged 3G wireless and wired Networks", IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, pp. 44-53.

[64] Markoulidakis, J. G., Dermitzakis, J. E., Lyberopoulos, G. L. ve Theologouss M. E., (2000), "Optimal system capacity in handover prioritized schemes in cellular mobile telecommunication systems", Computer Communications. Vol:23:issue 5-6, pp.462-475.

[65] Miao, G. ve Niu, Z. (2005), “Profit Oriented Multichannel Resource Management of Integrated Communication and Broadcast Networks”, IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. 51, No. 4, pp. 530-537.

[66] Mitra, D., Rieman, M.I. ve Wang, J. (June 1998), “ Robust dynamic admission control for unified cell and call QoS in statistical multiplexers”, Journal on Selected Areas oin Communications, 16(5):692-707.

[67] Mohammad M.I., Manzur, M. Ve Dooley, L.S. (2002), “A directionally based bandwidth reservation scheme for call admission control”, In Proceedings of International Conference on Computer and Information Technology, pp. 1-6.

[68] Naghshineh, M, Acompora, A. (Agust 1996), “QoS provisioning in micro-cellular networks supporting multiple classes of traffic”, IEEE Wireless Networks, Vol. 2, No. 3, pp.195-203.

[69] Naghshineh, M. ve Schwartz, S. (May 1996), “Distributed call admission control in mobile/wireless Networks”, IEEE Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 4, pp.711-717.

[70] Orlik P. V., Rappaport S. S., (July 1998), “Traffic performance and mobility modeling of cellular communications with mixed platforms and highly variable mobilities”, Proceedings of the IEEE, Vol.86, issue 7, pp. 1464-1479.

[71] Panotsopoulos, I., Kotsopolulos, S., Ioannou C. ve Louvros S. (March 2000), “Priority technique for optimizing handover procedure in personel communication systems”, Electronics Letters, Vol. 36, No. 7, pp. 669-670.

[72] Paul, R. ve Shah, K.V. (1997), “An objective comparison of second generation cellular systems-GSM, IS-136 and IS-95”, In Proceedings of International Conference on Personal Wireless Communications, pp. 510-514.

[73] Perez-Cruz, F.A., Lara-Rodrigez, D. ve Lara M. (Nov. 1999), “Fractional channel reservation in mobile communication systems”, Electronics Letters, 35: issue:23, pp. 2000-2002.

[74] Ramjee, R., Nagarajan, R. ve Towsley, D., (March 1997), “On optimal call admission control in cellular Networks”, Wireless Networks, 3(1):29-41.

[75] Rappaport S.S. (May 1990), “The multiple call handoff problem in personel communications Networks”, In Proceedings of the IEEE 40th Vehicular Technology Conference”, pp.287-294.

[76] Rappaport T. S., Wireless Communications Principles and Practice, Second Edition, 2001, Prentice Hall.

[77] Rappaport, T. (2002), Wireless Communications: Principles and Practice (2nd Edition), Prentice Hall.

[78] Roberts, J. ve Liao, K. (1985), **“** Traffic models for telecommunication services with advance capacity reservation”, Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 10, No:3-4, pp. 221-229.

[79] Salah-Eldeen, S., Elnahas, A. ve Ghoniemy, S. (2007), “ A hybrid distributed channel allocation algorithm using traffic prediction”, In Proceedings of International Conference on Information and Communications Technology, pp.115-121.

[80] Sang, A., Wang, X., Madihian, M. (2007**), “**Real-Time QoS in Enhanced 3G Cellular Packet Systems of a Shared Downlink Channel”, Journal on Wireless Communications, Vol. 6, No. 5, pp.1803, 1812.

[81] Severance, C. (1997), “Taking a high-tech approach to standards”, Computer, Vol. 30, No. 1, pp.114-116.

[82] Shimizu, Y., Nuno, F., Watanabe, K. (2008), “A novel QoS control scheme using random access period control for wide area ubiquitous wireless networks”, In Proceedings of Asia-Pacific Conference on Communications pp. 1-5.

[83] Song, W., Zhuang, W. ve Cheng, Y. (February 2007), “Load balancing for cellular/WLAN integrated Networks”, IEEE Network, Vol. 21, No.1, pp. 27-33.

[84] Stevens-Navarro, E., R., A.H.M. vve W., V.W.S., “Optimal Admission Control for Multi-Service Cellular/WLAN Interworking”, In Proceedings of GLOBECOM’07, pp. 5042-5047.

[85] Stewart, L. (1994), Introduction to Numerical solution of Markov Chains, Princeton University Press, Princeton.

[86] Subramaniam, K., Nilsson, A.A. (May 2005), “An analytical model for adaptive call admission control scheme in a heterogeneous UMTS-WCDMA system”, In Proceedings of International Conference on Communications, pp. 3334-3338.

[87] Tang, L. ve Li, W. (2004), “A channel allocation model with preemptive priority for integrated Voice veri mobile Networks”, In Proceedings of First International Conference on QoS in Heteregeneous Wired/Wireless Networks (QSHINE’04), pp. 181-188.

[88] Tang, S. ve Li, W. (April 2005), “Performance analysis of a channel allocation scheme with preemptive priority for integrated voice veri mobile Networks”, In Proceedings of 24th IEEE International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC’05), pp. 417-422.

[89] Tang, S. ve Li, W. (2007), “Performance analysis of a channel allocation scheme for multi-service mobile cellular Networks”, International Journal of Communication Systems (IJCS), 20:177-205.

[90] Tekinay, S. ve Jabbari, B., (October 1992), “A measurement based prioritization scheme for handovers in cellular and microcellular networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 10(8):1343-1350.

[91] Trillium Digital Systems, (March 2000), Third Generation (3G) Wireless White Paper, http://www.trillium.com

[92] Turner, J. S. (October 1986), “New directions in communications (or which way to information age”, IEEE Communications Magazine, Part: Anniversary, Vol. 40, issue 5, pp. 50-57.

[93] Verdone R. ve Zanella, A. (March 2007), “On the effect of user mobility in mobile radio systems with distributed DCA”, Vehicular Technology, Vol. 56, No. 2, 874-887.

[94] Verdone, R., Zanella, A.,Zuliani, L. (2005) “Performance of a cellular network based on frequency hopping with dynamic channel allocation and power control”, Transaction on Wireless Communications, Vol. 4, No.1, pp. 46-56.

[95] Wave-guide.org, [http://www.wave-guide.org/archives/waveguide_3/cellular-history].

[96] Xin, Y., Chong, L., Xin-sheng, J. ve Kai-zhi, H. (24-25 April 2010), “Research on the Identity in Heterogeneous Wireless Integrated Networks”, In Proceedings of International Conference on Network Security Wireless Communications and Trusted Computing, pp. 533-536.

[97] Yang, M. ve Chong, P.H.J. (2004), “Dynamic channel allocation scheme supporting multiple services in cellular systems”, In Proceedings of International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, pp.2171-2175.

[98] Yavuz, E. A. ve Leung, V. C. M., (July 2006), “Computationally efficient method to evaluate the performance of guard-channel-based call admission control in cellular Networks”, IEEE Transactions on Vehicuar Technology. 55(4):1412-1424.

[99] Yavuz, E.A. ve Leung, V.C.M. (2007) “Modeling Channel Occupancy Times for Voice Traffic in Cellular Networks”, In Proceedings of International Conference on Communications, pp. 332-337.

[100] Yu F.and Krishnamurthy V. (January 2007), “Opimal joint session admission control in integrated WLAN and CDMA cellular network”, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 6, no. 1, pp. 126-139.

TEZ DÖNEMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR:

SCI Tarafından taranan dergilerde yayımlanan araştırma (research) makaleleri:

1. A. BOZKURT, E. UÇAR, R. AKDENİZ "Resorce Allocation for Integrated Voice and Data Services in Cellular/WLAN Networks", CHINA COMMUNICATIONS, (Accepted), 2011.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan araştırma makale:

2. A. BOZKURT, E. UÇAR, R. AKDENİZ, 'Kablosuz Ağlarda Kaynak yönetimi', Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 10 (2), 00-00-2009.

Uluslararası kongre, sempozyum ve panel gibi bilimsel toplantılarda sunulan ve tam metin yayınlanan bildiriler:

3. A. BOZKURT, E. UÇAR, R. AKDENİZ, "Call Admission Control Policy for Integration of Voice/Data Traffic in Cellular Mobile Networks", CICSYN2010, II. International Conference Computational Intelligence, CommunicationSystems, Liverpool, UK, 28-30 July 2010.

4. A. BOZKURT, E. UÇAR, R. AKDENİZ, "Peformance Analysis For Resource Management in Integrated Cellular/WLAN Networks", 3rd IEEE International Conference on Broadband Network & Multimedia Technology IC-BNMT2010, Beijing CHINA, Oct. 26-28 2010.

Ulusal kongre, sempozyum ve panel gibi bilimsel toplantılarda sunulan ve tam metin olarak yayımlanan bildiri.

5. A. BOZKURT, R. AKDENİZ, E. UÇAR, "Entegre Ses/Veri Hücresel Kablosuz Ağlarda Servis kalitesi ve Kanal Tahsisi", 18. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU2010), Diyarbakır, 22-24 Nisan 2010.