T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONUM TABANLI ENERJİ VERİMLİ DİKEY EL DEĞİŞTİRME

MAHMUD RASİH ÇELENLİOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONUM TABANLI ENERJİ VERİMLİ DİKEY EL DEĞİŞTİRME

MAHMUD RASİH ÇELENLİOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. HACI ALİ MANTAR

GEBZE
2013

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17.06.2013 tarih ve 2013/32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15/07/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mahmud Rasih ÇELENLİOĞLU 'nun tez çalışması Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	:	Doç. Dr. Hacı Ali MANTAR
ÜYE	:	Yrd. Doç. Dr. Hasari ÇELEBİ
ÜYE	:	Yrd. Doç. Dr. Serdar Süer ERDEM

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Mobil cihazların yaygınlaşması ve internetin hızla yayılmasıyla birlikte bilgiye herhangi bir zamanda ve herhangi bir yerde ulaşma isteği doğdu. Bu isteği karşılamak üzere çeşitli kablosuz ağ teknolojileri geliştirildi. İki ağ düğümü arasında kesintisiz iletişim sağlamak için bu teknolojiler arasında geçiş yapma teknikleri geliştirilmeye başlandı. Aynı anda birden fazla kablosuz ağ teknolojisi kullanmak enerji problemini doğurdu. Bu sorunu çözebilmek amacıyla, bu çalışmada konum geçmişi tabanlı bir metot önerilmiştir. Bu metotta, kullanıcının ziyaret ettiği kablosuz ağ noktaları yer bilgileri kayıt altına alınmaktadır. Kullanıcı bir başka kablosuz ağa geçmeden önce bulunduğu ağı değerlendirir ve bu ağa ait değer kaydedilir. Kullanıcı aynı konuma tekrar geldiğinde tabloyu tarayarak o konumdaki kablosuz ağları bulur ve gereksinimler sağlanıyorsa geçiş yapar. Aksi halde ağ taraması yapılarak mobil uygulamanın ihtiyacını karşılayacak yeni bir ağ bulunur ve geçiş yapar. Bu çalışmada, ağ taramasını sağlamak için geliştirilmekte olan IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız Geçiş Servisleri (Media Independent Handover Services) kullanılmıştır. Bu servisler ağ düğümleri arasındaki iletişimi ve bilgi toplamayı sağlar ve ortamdaki değişimleri haber verir. Veri transferinin kopma yaşanmadan, çok az paket kaybıyla, muntazam bir şekilde yapılması ve aynı zamanda da ortamdan bağımsız şekilde el değiştirmeye olanak sağlaması sebebiyle mSCTP (Mobile Stream Control Transmission Protocol) protokolü kullanılmıştır. Bu tezde geliştirilen karar verme algoritması ve mSCTP protokolü C ve Java programlama dilleri kullanılarak gerçeklenmiştir. Önerilen modelin testleri gerçeğe yakın şekilde hazırlanan benzetişim ile test edilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki yer değiştirme geçmişi tutularak geçiş yapılacak ağın bilinmesi pil tüketimini azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler: IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Servisleri (MIH); Dikey el değiştirme; Enerji verimliliği.

SUMMARY

Nowadays, there is a growing demand for accessing information anywhere and anytime due to the proliferation of mobile devices. To provide this, several wireless Technologies are developed. According to the availability of different overlapping wireless technologies such as 3G and WLAN, handover between these wireless technologies is also available in order to sustain communication. Energy efficiency in handover process is an important aspect due to the battery problems of mobile devices. In this study, we propose user's location history based energy efficient handover schema. Access points that user visits are evaluated and stored with their location information in a lookup table. Whenever user changes its location, lookup table is queried. Visited networks are checked by their reputation values if they satisfy applications running on mobile device. If so, handover is executed and reputation value is updated. Otherwise, network scanning is required in order to discover a new un-visited wireless network. In this work, IEEE 802.21 Media Independent Handover Services standard is used for acquiring network information, communication and providing seamless handover. Mobility management is handled by Stream Control Transmission Protocol (SCTP) with dynamic address reconfiguration (DAR) extension (mSCTP). Developed handover decision algorithm and mSCTP protocol are implemented in C and Java language. Results show that, location history based handover reduces power consumption of mobile device. This is achieved by turning of unused network interface cards and not making frequent network scanning.

Key Words: IEEE 802.21 Media Independent Handover Services; Vertical Handover; Energy Efficiency.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince tez konuma yönelik kullanılacak yöntemlerin belirlenmesinde, tez çalışmalarıma uygulanmasında ve geliştirilen algoritmaların gerçek verilerle gerçeklenmesinde bana sağladığı imkânlardan, gösterdiği özenden, duyduğu güvenden ve sonuç odaklı çalışmaya yönelik kazandırdığı özelliklerden dolayı minnettar olduğum saygı değer danışmanım sayın Doç. Dr. Hacı Ali MANTAR 'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım süresince bana her zaman güvenen, ellerinden gelen tüm imkânları sağlayan aileme teşekkür etmeyi borç bilirim.

Bu çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen ve düşünceleriyle, bilgileriyle bana yardımda bulunan kıymetli arkadaşlarım M. Fatih TÜYSÜZ 'e ve Gökhan ÇELİK 'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	14
2. TEMEL BİLGİLER	17
2.1. El Değiştirme	17
2.1.1. Yatay El Değiştirme	18
2.1.2. Dikey El Değiştirme	20
2.2. IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değişim Servisleri	23
2.2.1. IEEE 802.21 Mimarisi	24
2.2.2. IEEE 802.21 Servisleri	27
2.3. Akış Kontrol İletişim Protokolü	30
2.3.1. Bağlantı Kurma	32
2.3.2. Veri Alışverişi	32
2.3.3. Dinamik Adres Ekleme	33
2.3.4. Dinamik Adres Değiştirme	33
2.3.5. Adres Silme	34
2.3.6. Bağlantı Sonlandırma	34
3. KONU ile İLGİLİ ÇALIŞMALAR	35
4. ÖNERİLEN EL DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ	39
4.1. Mimari Yapı	39
4.2. Ağ Değerlendirme Modülü	39
4.3. Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Modülü	42
4.3.1. Mevcut Ağlar Hakkında Bilgi Toplama	43
4.3.2. Ortamdan Bağımsız, Az Kayıp ve Gecikme ile El Değiştirme	43

4.4. El Değiştirme Yöneticisi 44
4.4.1. Ağ Geçmişi Tablosu 44
4.4.2. El Değiştirme Algoritması 46
4.4.2.1. Konuma Ait Ziyaret Edilmiş Ağların Bulunması Durumu 47
4.4.2.2. Konuma Bağlı Kayıtlı Ağ Olmaması Durumu 48
5. BENZETİM ve DENEYLER 50
5.1. Kabullenmeler ve Varsayımlar 50
5.2. Benzetim Senaryosu 52
5.3. Benzetim Sonuçları 52
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 65

KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		Açıklamalar
$rv_{AP[i]}$	:	Anlık ağ derecesi
Θ	:	Anlık ağ derecesi ağırlığı
$RV_{AP[i]}$	:	Geçmiş ağ derecesi
β	:	Kablosuz ağa bağlı kaçınılmaz enerji kaybı değeri (mW)
α	:	Kablosuz ağa bağlı veri gönderme değeri (mW/Mbps)
3G	:	3rd Generation
4G	:	4th Generation
ACK	:	Acknowledgement
AHP	:	Analytical Hierarchical Processing
APCV	:	Access Point Candidancy Value
APSV	:	Access Point Suitability Value
ARIMA	:	Autoregressive Integrated Moving Average
BS	:	Base Station
BSC	:	Base Station Controller
BTA	:	Bilgi Toplama Aşaması
CFM	:	Context-Fusion Module
CRP	:	Communication Reference Point
DAR	:	Dynamic Address Reconfiguration
DNS	:	Domain Name Server
EDGE	:	Enhanced Data Rates for Global Evoluation
EPCV	:	Expected Power Consumption Value
FTP	:	File Transfer Protocol
GPRS	:	General Packet Radio Service
GPS	:	Global Positionning System
GSM	:	Global Systems for Mobile Communications
HHO	:	Horizontal Handover
HIP	:	Host Identity Protocol
HOM	:	Handover Manager
HSDPA	:	High Speed Downlink Packet Access

IEEE	:	Institute of Electrical and Electronical Engineers
IETF	:	Internet Engineering Task Force
IP	:	Internet Protocol
LTE	:	Long Term Evoluation
MIH	:	Media Independent Handover
MIHF	:	Media Independent Handover Function
MIHM	:	Media Independent Handover Module
MIHS	:	Media Independent Handover Services
MIP	:	Mobile IP
MSC	:	Mobile Switching Center
NDM	:	Network Discovery Module
NEM	:	Network Evaluation Module
NHT	:	Network History Table
NIC	:	Network Interface Card
NQV	:	Network Quality Value
PEV	:	Performance Evaluation Value
PoA	:	Point of Attachment
PoS	:	Point of Service
RFC	:	Request for Comments
RSS	:	Received Signal Strength
RTMM	:	Real-time Monitoring Module
SACK	:	Selective Acknowledgement
SAP	:	Service Access Point
SCTP	:	Stream Control Transmission Protocol
SIGTRAN	:	Signalling Transport
SIP	:	Session Initiation Protocol
SS7	:	Signalling System 7
TCP	:	Transmission Control Protocol
TSN	:	Transfer Sequence Number
UDP	:	User Datagram Protocol
UMTS	:	Universal Mobile Telecommunication System
VDE	:	Vertical Handover Decision Engine
VHO	:	Vertical Handover
VoIP	:	Voice over IP

Wi-Fi	:	Wireless Fidelity
WiMAX	:	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	:	Wireless Local Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil No:		Sayfa
2.1:	GSM sisteminin hücreli gösterimi.	18
2.2:	Baz istasyonları arası yatay geçiş gösterimi.	19
2.3:	MSC 'ler arası yatay geçiş gösterimi.	20
2.4:	IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Servisleri.	25
2.5:	IEEE 802.21 İletişim referans noktalarının gösterimi.	26
4.1:	El değiştirme algoritması.	47
5.1:	Belirli bir kablosuz ağın ziyaret sayısına göre derece değerleri	53
5.2:	Kablosuz ağların ortamdaki dağılımlarının gösterimi.	54
5.3:	Yürüme hızıyla hareket edilirken kullanılan kablosuz ağ sayısı.	55
5.4:	Benzetim tekrar adımına göre el değiştirme sayısı.	56
5.5:	Kablosuz ağların tekrar kullanılma değerleri.	57
5.6:	Kullanıcının adımlara göre ağ tarama sayısı.	57
5.7:	Kablosuz ağlardaki ms bazında ortalama gecikme değerleri.	58
5.8:	Kablosuz ağlardaki mbps bazında ortalama throughput değerleri.	59
5.9:	Yol boyunca kullanılan kablosuz ağ sayısı.	60
5.10:	Araç ile hareket için benzetim tekrar adımına göre el değiştirme sayısı.	61
5.11:	Araç gidilirken kullanılan kablosuz ağların tekrar kullanılma değerleri.	62
5.12:	Araç giderken koşturma adımlarına göre yapılan ağ taraması sayısı.	62
5.13:	Araç ile giderken kablosuz ağlarda ölçülen ortalama gecikme değerleri.	63
5.14:	Araç ile giderken ziyaret edilen kablosuz ağların throughput değerleri.	64

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		**Sayfa**
2.1:	Yatay ve dikey el değiştirme arasındaki farklar.	18
4.1:	Her uygulama sınıfına ait parametrenin ağırlığı.	40
4.2:	Ağ teknolojisine ait NIC ’lerin enerji harcama değerleri.	41

1. GİRİŞ

Son yıllarda, teknolojinin gelişmesine paralel olarak herhangi bir zamanda ve herhangi bir yerde bilgiye erişme ihtiyacı hızla artmaktadır. Bunun başlıca 3 sebebi vardır. Birinci olarak, farklı türlerde pek çok taşınabilir cihaz üretilmeye başlanmıştır. Bu cihazlara örnek olarak cep telefonları, tabletler, netbooklar veya dizüstü bilgisayarlar gösterilebilir. İkinci neden ise kablosuz ağ teknolojilerinin yaygınlaşmasıdır. Günümüzde çok farklı tipte pek çok kablosuz ağ teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknolojilerinin her birinin kendisine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Geniş kapsama alanı ve kullanıcıya hareket serbestliği sağlayan GPRS, EDGE, GSM, UMTS gibi kablosuz ağ teknolojileri bant genişliği sağlama noktasında zayıftır. Fakat son yıllarda LTE veya WiMAX gibi 4. nesil kablosuz ağ teknolojileri geliştirilerek bant genişliği sorununa çözüm aranmaktadır. Burada sıralanan kablosuz teknolojilerinin aksine WLAN gibi 802.11 ağları olarak bilinen kablosuz LAN (kablosuz yerel alan ağı) daha fazla bant genişliği sunar. Fakat yerel olması sebebiyle küçük bir alanı kapsar ve buna bağlı olarak da kullanıcının hareketliliğini kısıtlar. Son olarak, üretilen mobil cihazlar birden fazla ağ arayüzüne sahiptirler. Günümüzde pek çok cep telefonu ve tablet hem 802.11 ağ arayüzüne hem de 3G ağ arayüzüne sahiptir. Burada sıralanan maddeler, kullanıcının sürekli internete bağlı kalmasını veya gerektiğinde daha iyi hizmet almasını sağlamak için, mobil cihazların kablosuz ağ teknolojileri arasında geçiş yapmasına (dikey el değiştirmeye) imkân sağlar [Marquez-Barja et al., 2011].

Birden fazla ağ arayüzüne sahip mobil cihazlar, mevcut kablosuz ağ teknolojileri arasındaki geçişleri farklı katmanlara ait farklı parametreleri değerlendirmek suretiyle yaparlar [Chai et al., 2009]. Aynı anda 2 veya daha fazla kablosuz ağa erişme imkânı olan bir mobil cihaz kendisine en yakın olan erişim noktasına, başka parametreleri düşünmeden, direk olarak bağlanabilir. Fakat bu verilen kararın iyi bir karar olduğunu göstermemektedir. Çünkü sinyal kuvveti çok güçlü olan en yakındaki erişim noktasından pek çok kullanıcı hizmet almaya çalışıyor olabilir. Bu durumda, bant genişliğinin o erişim noktasına bağlanmış olan diğer abonelerle de paylaşılmasından dolayı, mobil cihaz iyi hizmet alamayabilir. Sinyal gücünden bir miktar feragat etmek suretiyle daha uzaktaki ve daha az aboneli bir erişim noktasına bağlanmak daha avantajlı olabilir. Bunun yanı sıra,

günümüzdeki mobil cihazlar aynı anda birden fazla işi yapabilmektedir. Daha açık bir ifadeyle, mobil cihazlar üzerinde farklı türde uygulamalar çalışmaktadır. Bir kullanıcı aynı anda hem dosya gönderirken hem de bir başka kişiyle görüntülü konuşma yapabilir. Bu uygulamaların hepsi aynı ağ arayüzünden doğru dış dünya ile iletişim kurmaktadırlar. Fakat mobil cihaz üzerindeki her uygulama farklı servis kalitesine ihtiyaç duyabilir. Görüntülü konuşma gibi gerçek zamanlı uygulamalar için uçtan uca gecikme ve gecikme varyansı çok mühimdir. Fakat videonun birkaç saniye geç yüklenmesi ya da e-postanın birkaç saniye geç iletilmesi pek çok durum açısından kabul edilebilirdir. Sonuç olarak el değiştirme yapılırken farklı parametreleri kullanmak daha isabetli kararlar almayı sağlamaktadır [Kassar et al., 2008].

Günümüzdeki mobil cihazların en büyük sorunlarından biri kısıtlı çalışma süreleridir. Cihazların mobil olmaları sebebiyle pilleri yeterince uzun süre dayanmamaktadır. Bu duruma çözüm olarak bataryası değiştirilebilir mobil cihazlar üretilmeye başlanmıştır. Fakat bu çözüm maliyetli olabilir. Aynı zamanda sürekli olarak yedek pil taşımak pratik değildir. Bu durum müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle pil süresi uzun cihazlar geliştirilmeye ve az pil harcayan sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Birden fazla ağ arayüzüne sahip mobil cihazlar, ağ arayüzlerinin sürekli açık olması durumunda, çok enerji harcamaktadırlar [Nam et al., 2004].

Literatürde enerji verimliliği sağlayan sistemlerin genelinin ağ taramasını azaltmaya çalıştığı görülmektedir. Fakat bu metotlar entegre edilmiş kablosuz ağ teknolojileri üzerinde uygulanmıştır. Daha açık bir ifadeyle belirtmek gerekirse, örneğin, 3G ile WLAN kablosuz teknolojileri birbirlerine entegre edilmiştir. WLAN erişim noktaları genellikle direk olarak 3G çekirdek ağına bağlanmıştır. Fakat gerçek hayatta bunu sağlamak maliyetli olmaktadır. Ayrıca hizmet sağlayıcıların aynı anda hem 3G hem de WLAN kablosuz ağ hizmeti vermesi gerekmektedir. Ne yazık ki, en azından kendi ülkemiz için, böyle bir servis sağlayıcı bulunmamaktadır. Bu durumda önerilen metotların gerçek hayata uygulanması mümkün değildir. Önerilen pek çok çalışmadaki gibi enerji verimliliği sağlayan fakat uygulanması kolay el değiştirme metotlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Günlük hayatımızın içinde pek çok rutin iş bulunmaktadır. İş günlerinde belli saatlerde kalkar belli saatlerde evimizden çıkarız. Yine belli bir güzergâhı izleyerek iş yerimize varırız. Bu akşam eve dönerken de bu şekilde olmaktadır. Bu durum

sadece yetişkinlere özel olmayıp öğrenciler için de böyledir. Hayatımızı incelediğimizde çoğunlukla belli yerleri ziyaret ettiğimiz görülür. Çalışmada önerilen metodun çıkış fikri de insanların rutinler sebebiyle belli yer değiştirme örüntülerinin olmasıdır.

İnsanların rutinler sayesinde ortaya çıkan yer değiştirme örüntüleri bize enerji verimliliği sağlayan yer değiştirme metodu geliştirmemize olanak tanımaktadır. Evden işe ya da işten eve giderken belli bir güzergahı takip ederiz. Bu güzergahlar üzerindeki kablosuz ağlar belirlidir. Dolayısıyla hangi ağlar arasında el değiştirme yapılacağı önceden bilinebilir. Bu durumdan faydalanılarak, bu tez çalışmasında insanların yer değiştirme geçmişine bağlı olarak el değiştirme kararı veren bir metot önerilmiştir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, ziyaret edilen yerlerde kullanılan erişim noktaları bir geçmiş tablosuna kaydedilir. Kaydedilen erişim noktaları arasında kolay seçim yapılabilmesi ve ortamdaki ağların taranması için harcanan enerjinin düşürülmesi için her konumdaki erişim ağına bir derece verilmektedir. Kullanıcı yeni bir konuma giriş yaparken geçmiş ağ tablosuna bakar ve o konuma önceden kullanılan kablosuz ağa gerekli koşulları sağlaması halinde bağlanır. Bu sayede, geçmiş ağ bilgisi kullanılarak, geniş ağ taraması yapmak yerine mevcut ağlar için kısa bir tarama yapmak yeterli olacaktır. Çalışmanın enerji verimliliği sağlaması amacıyla ortaya koyduğu bir diğer katkı da gerektiğin aynı anda iki farklı NIC kullanılmasıdır. Uygulama bazlı olarak aynı anda iki farklı NIC üzerinden veri gönderip almak bazı durumlarda tek NIC üzerinden iletişim kurmaktan daha avantajlı olabileceği düşünülmüştür. Çalışmanın gelecek için de geçerli olması için geliştirilmekte olan IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Servisleri kullanılmıştır. Bu sayede önerilen metot hem gelecekte kullanılacak olan standardı desteklemektedir hem de uygulamaya koyulması önerilen diğer metotlara göre daha az maliyetlidir.

Bu tez çalışmasında uygulamaları sınıflandırmak ve enerji tüketimini hesaplamak suretiyle enerji verimliliği sağlayan el değiştirme metodunun geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. TEMEL BİLGİLER

Bu kısımda çalışmanın anlaşılabilmesi için bilinmesi gereken konular kısaca anlatılmaktadır. İlk olarak el değiştirme kavramından ve farklı el değiştirme çeşitlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra halen geliştirilmekte olan 802.21 standardı kısaca anlatılmıştır. Son olarak da çalışmada kullanılan protokol hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. El Değiştirme

GSM gibi hücresel haberleşme yöntemlerinin temel özelliklerinden birisi kullanıcılara hareket serbestliğini kazandırmasıdır. Kullanıcı aldığı hizmetin hareket halindeyken de devam etmesini bekler. El değiştirme (handover veya handoff) bir mobil kullanıcının servis aldığı hücrenin dışına çıkması sebebiyle servis almaya devam etmesi için bir başka hücreye geçiş yapmasıdır. Örneğin, bir araçta yolculuk ederken telefon ile konuşan bir kişi servis aldığı baz istasyonunun kapsama alanının dışına çıkar. Bu durumda konuşmanın yani iletişim kesilmemesi için el değiştirme işlemi gerçekleştirilir ve kullanıcı bir başka baz istasyonu üzerinden konuşmasına devam eder. Burada önemli olan şeylerden birincisi iletişimin kesinlikle kopmaması ve ikincisi de geçişin hızlı bir şekilde yapılmasıdır.

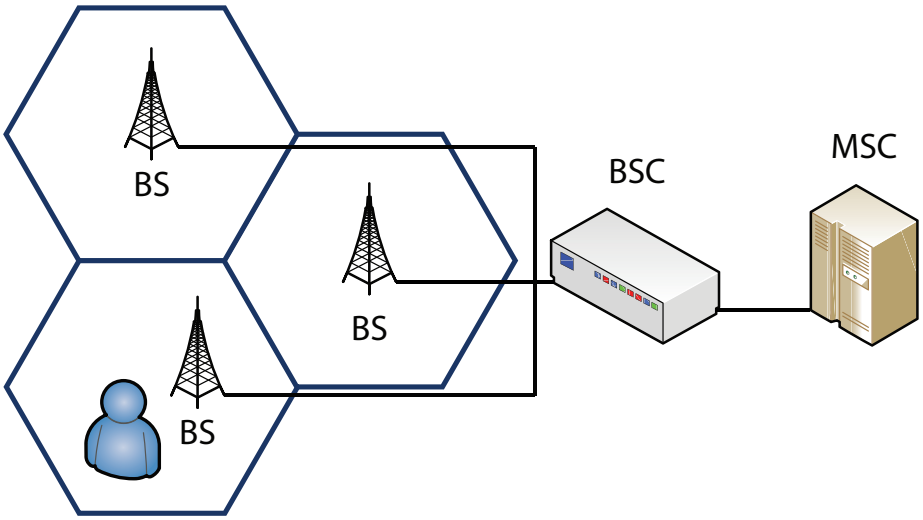
Kablosuz teknolojilerin gelişmesiyle birlikte aynı ortamda birden fazla farklı kablosuz teknolojinin varlığı mümkün hale gelmiştir. Dolayısıyla kablosuz teknoloji anlamında heterojen bir yapı mevcuttur. Bu durum iki farklı el değiştirme yöntemini mümkün kılmaktadır. Birinci yöntem homojen ağlar arasında yani aynı kablosuz ağ teknolojileri arasında gerçekleştirilir. Bu yönteme yatay el değiştirme (horizontal handover veya handoff) de denir. GSM sistemindeki el değiştirme buna örnek olarak gösterilebilir. Bir diğer yöntem ise dikey el değiştirmedir (vertical handover veya handoff). Bu yöntemde heterojen kablosuz ağ teknolojileri arasında geçiş yapılmaktadır. Bu duruma örnek olarak 3G ile iletişim kurulurken kablosuz yerel alan ağına geçiş yapılması gösterilebilir.

Tablo 2.1: Yatay ve dikey el değiştirme arasındaki farklar.

	Yatay El Değiştirme	Dikey El Değiştirme
IP Adresi	Değişebilir	Değişir
Kablosuz Teknoloji	Değişmez	Değişir
Servis Kalitesi Parametreleri	Değişmez	Değişebilir
Ağ Arayüzü	Değişmez	Değişir

2.1.1. Yatay El Değiştirme

GSM gibi hücreli haberleşme sistemlerinde kapsama alanı hücre adı verilen bölümlere ayrılmıştır. Bu hücreler içinde bir ya da daha fazla baz istasyonu bulunabilir. Hareket serbestliği hücre içinde baz istasyonu değişimi yapılarak ya da farklı bir hücredeki baz istasyonları arasında geçiş yapılarak gerçekleştirilir. Bu geçişler arasında iletişimin kopmaması gerekmektedir.

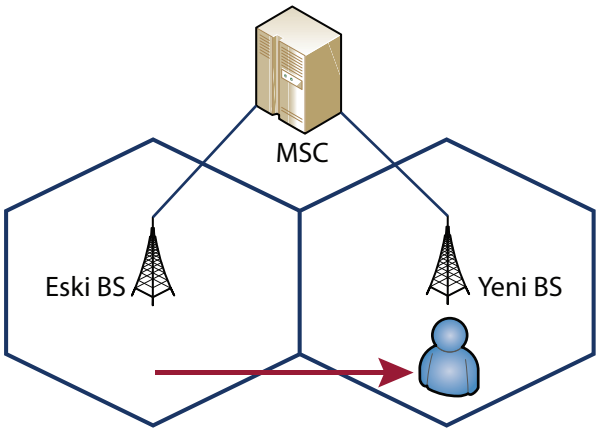


Şekil 2.1: GSM sisteminin hücreli gösterimi.

Temel olarak iki sebepten ötürü geçiş yapılır. Birinci olarak, BSC ve MS tarafından sinyal gücü ölçümleri yapılır. Daha sonra sinyal kuvvetine bakılarak geçişe karar verilir. Hareket halindeki kullanıcı servis aldığı hücrenin dışına çıkarken ya da sinyal bir engel ile karşılaşması sebebiyle sinyal gücü zayıflar ve belli bir değerin altına iner. Bu durumlarda, bağlantının devam ettirilebilmesi için mobil kullanıcının içinde bulunduğu hücreye komşu olan bir başka hücreye geçiş yapılır

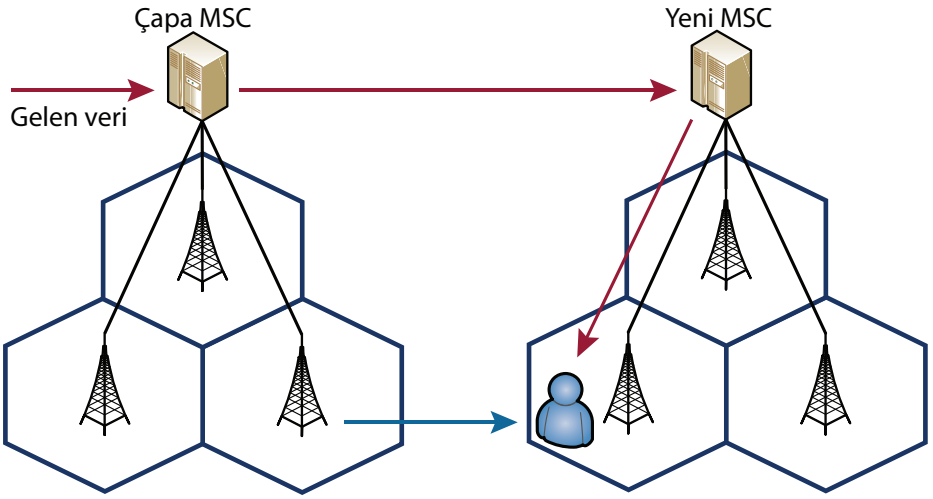
veya bir başka baz istasyonuna geçilir. İkinci olaraksa, aynı hücre içinde ağ yükünün dengelenmesi için baz istasyonları arasında geçiş yapılır. Eğer bir baz istasyonunda çok fazla yük varsa, bu ağ yükünün dağıtılması ve kullanıcıların daha iyi servis alması için bazı kullanıcıların başka baz istasyonlarına geçirilmesi söz konusu olur.

Yatay el değiştirme 2 farklı şekilde yapılır. Bunlar baz istasyonları arası değişme ve mobil anahtarlama merkezleri (MSC) üzerinden yapılan değişmedir. Birinci durumda, yatay el değiştirme aşağıda anlatıldığı gibidir.



Şekil 2.2: Baz istasyonları arası yatay geçiş gösterimi.

- Eski baz istasyonu MSC ’ye mobil kullanıcının hangi baz istasyonuna geçiş yapacağını haber verir.
- MSC bu bilgiyi aldıktan sonra yeni baz istasyonu ile arasında gerekli kaynakları alarak bir iletişim yolu oluşturur.
- Yeni baz istasyonu radyo kanalını oluşturur ve mobil kanadın bu yolu bulabilmesi için kanalı açık halde tutar.
- Yeni baz istasyonu MSC yoluyla eski baz istasyonuna iletişim kanalının kurulduğunu ve artık mobil kullanıcının yatay geçiş yapabileceğini haber veren bir mesaj gönderir. Bu mesaj içinde mobil kullanıcının yeni baz istasyonu hakkında bilmesi gereken bütün bilgiler bulunmaktadır.
- Bu bilgileri alan mobil kullanıcı yeni baz istasyonu ile iletişim kurar. Yatay değiştirme işlemi bittikten sonra yeni baz istasyonu üzerinden MSC ’ye el değiştirme tamamlandı mesajını gönderir. Bundan sonra MSC ‘ye gelen çağrılar vb. direk olarak yeni baz istasyonuna yönlendirilir.
- Eski baz istasyonunun tuttuğu kaynaklar geri bırakılır.



Şekil 2.3: MSC 'ler arası yatay geçiş gösterimi.

El değiştirme işleminin farklı MSC 'lere bağlı baz istasyonları arasında gerçekleştirilmesi durumunda arama verileri eski MSC, bir başka tabirle çapa MSC, üzerinden yeni MSC 'ye iletilir.

2.1.2. Dikey El Değiştirme

Günümüzde üretilen çoğu laptopun ya da cep telefonu gibi mobil cihazın üzerinde birden fazla farklı ağ arayüzü bulunmaktadır. Bu ağ arayüzlerinin ait olduğu kablolu ya da kablosuz ağ teknolojileri belli bir alanı kapsayabilmektedir. Böylelikle belli bir yerde mevcut birden fazla ağ teknolojisi bulunabilir. Bütün bunlar birleştirildiğinde görülür ki farklı ağ teknolojileri arasında geçiş yapmak mümkündür. Ağ teknolojileri bakımından heterojen olan bir ortamda bir ağ teknolojisinden bir başka ağ teknolojisine geçiş yapmaya dikey el değiştirme denir. Dikey el değiştirme iki sebepten ötürü yapılmaktadır. Birinci sebebi, iki ağ düğümü arasındaki iletişimi kesintisiz olarak devam ettirmektir. Örneğin WLAN kapsama alanından dışarı çıkan kullanıcı hemen en uygun 3G ağına bağlanır. Bu sayede internet kesilmez. Bu tip dikey el değiştirmelere zorunlu el değiştirme denir. Zorunlu el değiştirmelerin çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekir. Buradaki temel amaç daha önce de ifade edildiği gibi bağlantının kopmasını engellemektir. Kullanıcının ne kadar iyi servis alacağı genellikle düşünülmez. İkinci sebep ise kullanıcı memnuniyetini arttırmaya yönelik olan keyfi el değiştirmedir. Keyfi el değiştirmede bağlantının kopması gibi bir durum zaten söz konusu değildir.

Kullanıcının daha iyi hizmet alması için farklı bir ağa geçilir. Örnek olarak bir FTP uygulaması çalışıyorsa, iş çıkarma oranı (throughput) daha yüksek olan bir ağa geçilebilir. Dikey el değiştirme üç aşamada tamamlanır. Bunlar bilgi toplama aşaması, karar verme aşaması ve el değiştirme aşamasıdır.

Bilgi Toplama Aşaması (BTA, Information Gathering) ilk aşamadır. Bu aşamada mevcut aday ağlar hakkında bilgiler toplanır. Bilgiler mobil kullanıcı tarafından, ağ elemanı tarafından veya melez olarak iki tarafın ortaklaşa çalışması şeklinde toplanabilir. Sadece mobil kullanıcı tarafından bilgi toplanması durumlarında enerji kaybı fazla olabilir. Mobil kullanıcı mevcut ağlar hakkında bilgi toplamak için periyodik olarak alternatif ağ arayüzlerini açıp kapatır. Ağ arayüzlerinin sürekli olarak açılması enerji kaybını arttırır. Buna çözüm olarak parametrelerin ve mevcut ağların keşfi için ağ tarafından bilgi almaya çalışılmalıdır. Bu sayede sadece mevcut açık ağ arayüzü aracılığıyla veri toplamak mümkün olur. Çalışmalarda pek çok farklı parametreye ait bilgilerin toplandığı gözlemlenmiştir [Marquez-Barja et al., 2011]. En yaygın parametreler RSS (Received Signal Strength), mobil kullanıcının hızı, iş çıkarma oranı, pil harcama değeri, kayıp paket değeri, servis kalitesi ve kullanım ücretidir. BTA 'nda elde edilen bilgiler yeterince doğru olmayabilir. Bunun temel sebebi de kablosuz ağlara ait sinyallerin çevresel faktörlerden dolayı bozulmasıdır. Bu değerlerin kullanılmadan önce normalleştirilmesi gerekmektedir.

Karar Verme Aşaması (Decision Making) ikinci aşamadır. Bu aşamada BTA 'nda toplanan veriler kullanılır. Tasarlanan karar verme algoritması toplanan verileri kullanarak mevcut aday ağları değerlendirir. Sonuç olarak en yüksek ya da en düşük değere sahip ağ seçilir. Yüksek değerin mi düşük değerin mi iyi olduğu tasarlanan algoritmaya bağlıdır. Örneğin enerji harcama değerine göre sıralama yapıldığında en düşük değer en iyi geçiş yapılacak ağı temsil etmektedir [Desset et al., 2009]. Fakat tam tersi durum da söz konusudur. Çoğunlukla en yüksek değere sahip ağ en iyi ağı temsil etmektedir [Calhan and Ceken, 2011], [Jin et al., 2011], [Tran et al., 2012] ve Xenakis et al., 2011]. Karar verme algoritmalarının çok az ya da çok fazla parametre kullanması sakıncalıdır. Çok az parametre kullanılması durumunda yeterince isabetli karar verilmemiş olur. Bu durum sık sık el değiştirme yapmaya sebep olabilir. Böylelikle de hem harcanın enerji artar hem de kullanıcının memnuniyeti azalır. Eğer çok fazla parametre kullanılırsa bu durumda da karar verme algoritmasına bağlı olarak işlemlerin karmaşıklığı sebebiyle bir sonuç değeri üretmek zaman alabilir.

Zorunlu el değiştirme durumunda eğer karar verme işlemi uzun sürerse bağlantı kesilebilir. Ayrıca çok fazla parametre kullanmak göreceli olmakla birlikte daha fazla hesaplama işleminin yapılması anlamına gelir. Bu durumda hesaplama için harcanın enerji de artmaktadır. Karar verme aşamasında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus Ping-Pong Etkisi 'nin önlenmesidir. Bazı durumlarda mobil kullanıcı iki ağ arasında sürekli olarak geçiş yapabilir [Inzerilli et al., 2008]. Bunun en basit sebebi RSS 'in her iki ağ için de sınır değerine yakın olmasıdır. Belli bir süre için bile olsa sürekli olarak iki ağ arasında aralıksız geçiş yapılması sebebiyle verilerin iletilmesi ya da alınması sekteye uğrar. Geçiş esnasında yaşanan veri kayıpları ve sınırlı paket gönderme durumu sebebiyle de verilen hizmet kesintilere uğrar. Bu durum servis kalitesini ve buna bağlı olarak müşteri memnuniyetini azaltır. Karar verme algoritması tasarlanırken Ping-Pong Etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Mobil kullanıcılar araç içerisinde seyahat ederken yüksek hıza sahiptirler. Karar verme algoritmaları bu durumu göz önünde bulundurarak ağ seçimi yapmalıdırlar. Örneğin, bir otomobil ile seyahat eden yolcu ağları hız parametresini düşünmeden değerlendirebilir. Çoğu zaman WLAN değerleri 3G ağlarının ait değerlerden yüksektir. Fakat WLAN ağlarının kapsama alanları küçüktür. Eğer kullanıcı sürekli olarak 3G ile belli bir hizmet almayı yeğlemek yerine karar değeri yüksek olduğu için sürekli olarak WLAN ağları arasında geçiş yaparsa daha önce de bahsedildiği gibi sürekli olarak el değiştirme yapması sebebiyle müşteri memnuniyetini azaltır. Bir diğer önemli kıstas de ağ arayüzlerinin düşünülmesidir. WLAN ağları veri gönderirken 3G ağlarına göre daha az enerji harcarlar. Fakat bekleme ve uyku modlarında 3G arayüzlerine göre daha fazla enerji harcamaktadırlar [Nam et al., 2004]. Enerji verimliliği sağlamak amacıyla bu durum da göz önüne alınarak ağ arayüzlerinin yönetimi yapılabilir. Bu sayede mobil cihazların önemli bir problemi olan pil sorununun çözümüne katkı sağlanmış olur.

Dikey el değiştirmedeki son aşama el değiştirmenin gerçekleştirilmesi (Execution of Handover) aşamasıdır. Bu aşamada hedef pürüzsüz geçiş (seamless handover) yapmaktır. Pürüzsüz geçişten kastedilen şey en az seviyede paket kaybı ve gecikme ile bağlantının kesilmesinin engellenmesidir. El değiştirme mimarisi iki farklı şekilde olmaktadır. Sıkı bağlaşımlı mimarilerde (tightly-coupled architecture) iki ya da daha fazla ağ teknolojisinin içyapısı ve işleyişi değiştirilir. Entegre edilmiş ağ sistemi sayesinde geçiş hızlı bir şekilde yapılabilir. Güncelleme hem donanımsal [Chen et al., 2006] hem de yazılımsal [Pries et al., 2008] olabilir. Bu yaklaşımın kötü

tarafı ağ teknolojilerinin ve gerekirse çekirdek ağın güncellenmesinin maliyetidir. Güncellemenin yapılması ve test edilmesi maliyetli ve yavaş olabilir. Gevşek bağlaşımlı mimariler (loosely-coupled architecture) ağ teknolojisi üzerinde güncelleme yapılmasını gerektirmez. Yazılımsal olarak el değiştirme yapmak mümkündür. Bu yaklaşımda bütünleşme donanımsal olarak sağlanmadığı için el değiştirme daha yavaş olmaktadır. Bu aşamadaki devingenlik yönetimi (mobility management) önemli bir konudur. İki uç arasında haberleşmenin devam edebilmesi için karşı tarafın mobil kullanıcının ağdaki yerini bilmesi gerekmektedir. Bu sayede verileri nereye göndereceğini bilebilir. Bu anlamda farklı katmanlardaki farklı protokoller kullanılabilir. Uygulama katmanında Oturum Başlatma Protokolü (Session Initiation Protocol, SIP) kullanılmaktadır [Lin and Huang, 2007]. İletişim katmanı en çok tercih edilen katmandır. Bu katmanda kullanılan protokoller Konuk Kimlik Protokolü (Host Identity Protocol, HIP) [Toledo et al., 2009] ve Akış Kontrol İletişim Protokolü (Stream Control Transmission Protocol, SCTP) [Ma et al., 2004] 'dür. IP Katmanında da Mobil IP (Mobile IP, MIP) kullanılmaktadır [Perkins, 2002]. Bu aşamada el değiştirmenin hızlı olması gerekir. Kullanıcı yüksek hızda seyir halindeyken el değiştirme yavaş olursa bağlantı kopar. Bu nedenle geçişin hızlı bir şekilde yapıldığından emin olunmalıdır.

Dikey el değiştirme işleminin kontrolü üç farklı şekilde olmaktadır. Mobil kullanıcı tabanlı ya da ağ tabanlı olabilir. Melez versiyon olarak ağ destekli olup mobil kullanıcı tarafından gerçekleştirilen yaklaşım da mevcuttur. Mobil kullanıcı tabanlı olan yaklaşımda kullanıcı hangi ağa geçeceğine kendisi karar vermektedir [Calhan and Ceken, 2011]. Ağ tabanlı yaklaşımda da ağ mobil kullanıcıya hangi ağa geçmesi gerektiğini bildirir [Pries et al., 2006]. Bu tip yaklaşımlarda genellikle merkezi bir karar mekanizması bulunur. Melez yaklaşımda ortak bir çalışma söz konusudur [Zekri et al., 2011]. Mobil kullanıcı ağın yardımı ile bir karar verir.

2.2. IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değişim Servisleri

Günümüzde kablolu ve kablosuz ağ teknolojileri bulunmaktadır. Bu ağlar arasında geçiş yapmak için n farklı ağdan (n-1) farklı ağa geçişin nasıl olması gerektiğinin bulunması gerekir. Buna bağlı olarak da toplamda (n*(n-1))/2 tane geçiş metodunun bulunması gerekmektedir. Bunun önüne geçişmesini engellemek

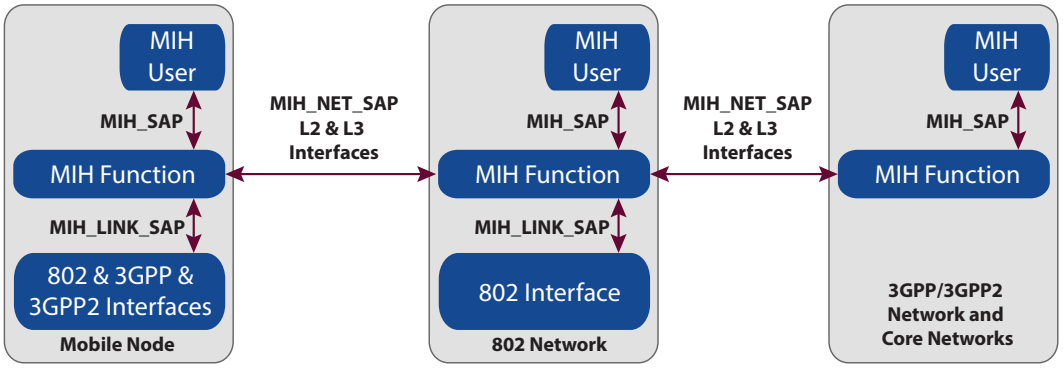
amacıyla bir geçiş standardı ortaya atılmıştır. Böylelikle, n farklı metot ile ağlar arası geçiş mümkün olabilecektir.

IEEE 802.21 standardı Internet Mühendisliği Görev Gücü (Internet Engineering Task Force – IETF) tarafından geliştirilen yeni bir standarttır [IEEE, 2008]. Bu standart ilk olarak 2007 yılında çıkarılmış olup halen geliştirilmektedir. Standardın çıkarılış amacı IEEE 802 ile IEEE 802 olmayan heterojen ağlar arasında servis kesintisi yaşanmadan geçiş yapılmasını sağlamaktır [Taniuchi et al., 2009]. Bu standart aslında bir çerçeve sunmaktadır. Bu sanal katman ağ teknolojilerinden bağımsız olarak bir arayüz oluşturmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, TCP/IP yığıtındaki (TCP/IP Protocol Stack) üst katmanlarla alt katmanlar arasındaki haberleşmeyi ve etkileşmeyi ağ teknolojilerinden bağımsız olarak sağlaması planlanmıştır. Bu sanal katman 2. katman olan bağlantı katmanı (link layer) ile 3. katman olan ağ katmanı (network layer) arasında yer almaktadır.

IEEE 802.21 standardı pek çok amaca hizmet etmektedir. En önemli amaç servisin devamıdır. El değiştirme esnasında iki tarafın haberleşmesi hiçbir şekilde kesilmemesi gerekmektedir. İkinci olarak, uygulamalara bağlı olarak el değiştirmenin gerçekleştirilebilmesidir. Örneğin, bir sesli görüşme uygulamasının çalıştığı mobil cihazda geçiş yapılırken, uygulamanın paket göndermediği bir periyotta geçiş yapılabilir. Bu sayede minimum düzeyde servis kesintisi yaşanır. Bunların yanı sıra, mobil cihazların komşu ağlar hakkında bilgi almasını sağlar. Bu sayede ağ keşfi daha kolay bir şekilde yapılmaktadır. Bir diğer amaç ise güç yönetimini sağlamaktır. Kullanıcının bulunduğu alana göre kapsadığı ağ haritasının sunulması buna bir örnek olarak gösterilebilir.

2.2.1. IEEE 802.21 Mimarisi

Mimari olarak IEEE 802.21 standardı sadece mobil cihazlarda değil, anahtarlayıcı, yönlendirici gibi ağ elemanlarının yanı sıra ağ çekirdeğinde de bulunmaktadır. Bu standardın içerisinde, bütün bu ağ elemanlarının birbirleriyle etkileşim içerisinde olmasını sağlayacak Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Fonksiyonu (Media Independent Handover Function - MIHF) denilen bir yapı bulunur. MIHF alt katmanlarla üst katmanlar arasındaki haberleşmeyi, bilgi değişimini, etkileşimi ve koordinasyonu sağlar.



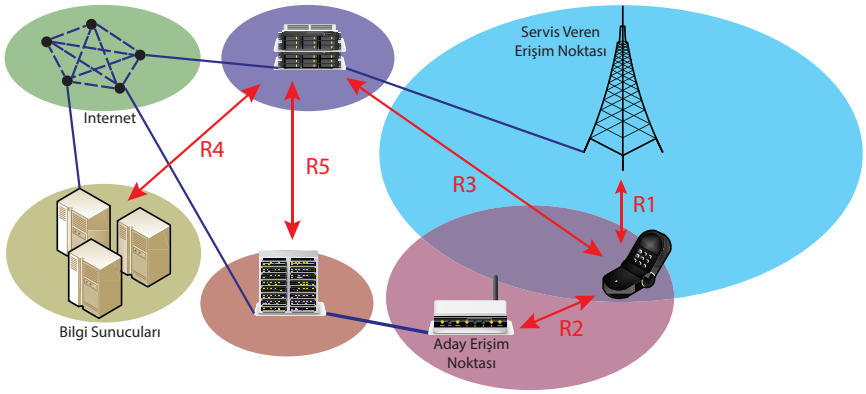
Şekil 2.4: IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Servisleri.

MIHF tarafından bakıldığında her cihazda MIHF kullanıcıları (MIH users - MIHU) bulunur. MIHF kullanıcıları MIHF fonksiyonlarını kullanarak el değiştirme ile ilgili bilgi toplarlar. MIHF ile MIHF kullanıcıları ya da alt katman gibi MIH birimleri arasında haberleşmenin sağlanması için Servis Erişim Noktası (Service Access Point – SAP) adı altında bazı servisler tanımlanmıştır. Katmanlar arasındaki bütün iletişimler bu servisler aracılığıyla sağlanır.

- MIH_SAP: MIHF ile üst katmanlardaki MIH kullanıcıları arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır.
- MIH_LINK_SAP: MIHF ile alt katmanlar arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır.
- MIH_NET_SAP: Uzak MIHF birimleri ile bilgi alışverişini sağlamak için kullanılmaktadır.

MIHF ile alt katmanlar arasındaki bütün ağ arayüzü birimleri gibi birimlerle haberleşmek için sadece MIH_LINK_SAP servisi kullanılır. Bu arayüz, ağ arayüzlerinden bağımsızdır ve bütün ağ teknolojilerine uygun olan ortak bir arayüz sunar. Bu sayede MIHF katmanı alt katmandan bağımsız olarak tasarlanabilmektedir. Standardın ortamdan bağımsız olmasının sağlanması bu servis aracılığıyla olmaktadır. Üst katmanların alt katmanlarla haberleşmesi için sadece tek bir servis bulunurken, ağ arayüzleri ile MIH_LINK_SAP arasında bir kaç farklı servis bulunmaktadır.

- MIH Bağlantı Noktası (MIH Point of Attachment – MIH PoA): Bu birim mobil kullanıcının birebir etkileşimde olduğu bağlantı noktasını temsil eder. Örneğin, baz istasyonu ya da WLAN erişim noktasıdır. Daha açık bir ifadeyle, mobil cihazın 2. katmanının direk olarak haberleştiği bağlantı noktasıdır.
- MIH Servis Noktası Birimi (MIH Point of Service – MIH POS): Bu birim mobil kullanıcının mesaj alıp gönderdiği diğer erişim noktalarıdır. Birden fazla olabilirler. Aday bağlantı noktaları buna örnek olarak gösterilebilir.
- MIH Servis Noktası Dışı Birim (MIH non-Point of Service – MIH non-POS): Mobil kullanıcı ile direk olarak mesajlaşmayan ağ elemanlarıdır. Çekirdekteki ağ elemanları en basit örnektir.



Şekil 2.5: IEEE 802.21 İletişim referans noktalarının gösterimi.

Yukarıda anlatılan ağ birimleri arasındaki iletişimi kurmak için tanımlanmış İletişim Referans Noktaları (İRN) oluşturulmuştur. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- İletişim Referans Noktası R1 (İRN R1 – Communication Reference Point R1): Mobil kullanıcı ile mobil kullanıcının servis aldığı bağlantı noktası arasındadır. Bu iki ağ elemanının arasındaki haberleşme bu kanal üzerinden sağlanır.
- İletişim Referans Noktası R2 (İRN R2 – Communication Reference Point R2): Mobil kullanıcı ile aday bağlantı noktaları arasındaki iletişim sağlanması için kullanılır. El değiştirme kararı verilmeden önce diğer aday ağların bilgisi alınırken kullanılabilir.
- İletişim Referans Noktası R3 (İRN R3 – Communication Reference Point R3): Mobil kullanıcı ile MIH non-POS arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılır.

- İletişim Referans Noktası R4 (İRN R4 – Communication Reference Point R4): MIH-POS ile MIH non-POS arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılır. Tipik olarak, mobil kullanıcının hizmet aldığı MIH sunucusunun başka bir MIH sunucusu hakkında bilgi alması için kullanılır.
- İletişim Referans Noktası R5 (İRN R5 – Communication Reference Point R5): Bir ağa ait MIH-POS ile farklı bir ağa ait MIH-POS arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılır.

2.2.2. IEEE 802.21 Servisleri

IEEE 802.21 tarafından 3 farklı servis tanımlanmıştır. Bunlar Olay Servisleri (Event Services – ES), Komut Servisleri (Command Services - CS) ve Bilgi Servisleri (Information Services – IS) 'tir. Bu servisler sayesinde ağlar hakkında bilgiler toplanır ve ya bağlantı katmanı kontrol edilir. Servisler senkron ya da asenkron olarak kullanılabilir. Bağlantı katmanında olan olaylar OS tarafından senkronize olarak MIHF 'a ya da asenkron olarak MIHF kullanıcılarına bildirilir. Buna karşılık olarak komutlar ve bilgiler sorgu/cevap mekanizması (query/response mechanism) yardımıyla senkron olarak iletilir.

IEEE 802.21 'de el değiştirme işlemi mobil kullanıcı tarafından ya da bir ağ elemanı tarafından başlatılabilir. Bu nedenle, üretilen olaylar mobil kullanıcı üzerindeki bağlantı katmanından ya da MIHF ara katmanından yahut da bağlantı noktasından gelebilir. Bu gösterir ki, pek çok farklı birim olay bilgisi üretebilir. 802.21 içindeki birimler, üretilen olay bilgilerini almak için olaylara abone olmak zorundadırlar. Herhangi bir olaya üye olan ağ elemanı abone listesine kaydedilir. Bir olay geliştiği zaman listedeki elemanlara mesaj gönderilir. MIH uzak olayları (MIH Remote Events) İRN R1, İRN R2 ya da İRN R3 kullanılarak gönderilebilir. Olaylar temel olarak ikiye ayrılmıştır. Bunlar MIH Olayları (MIH Events - MIHE) ve Bağlantı Olayları (Link Events - LE) 'dır. LE bağlantı katmanında üretilen olaylardır ve MIHF 'a gönderilir. MIHF tarafından alınan olaylar MIH kullanıcılarına gönderilir. Bu olaylara da MIHE denir. LE üretebilen ağ elemanları IEEE 802.x, 3GPP, 3GPP2 MIH_LINK_SAP tarafından tanımlanmıştır. ES tarafından desteklenen olay türleri aşağıdaki gibidir.

- MAC ve Fiziksel Durum Değişim Olayları: Bağlantı ya da fiziksel katmandaki değişimleri haber veren olaylardır. Kanal Açık (Link Up) ya da Kanal Kapalı (Link Down) olayları buna örnek olarak gösterilebilir.
- Kanal Parametre Olayları: Kanala ait parametrelere değiştiği zaman üretilen olaylardır. Senkron olarak her parametre değiştiği zaman üretilebilir. Alternatif olarak sorgu yöntemi ile asenkron olarak da üretilebilir. Örneğin RSS değeri gibi belli bir parametrenin değerinin sınır değerinin altına düştüğü zaman üretilmesi gibidir.
- Kanal Senkron Olayları: Bağlantı katmanında üst katmanları ilgilendiren bazı olayların rapor edilmesi için kullanılmaktadır. Bu olaylar direk olarak üst katmanları ilgilendirmeyebilir. Fakat bağlantı katmanında gerçekleşen değişimleri rapor eder.
- Kanal İletişim Olayları: Üst katmanları ilgilendiren ve iletişim durumuna bağlı olarak üretilen olaylardır. Örnek olarak, gerçekleşen el değiştirme esnasında gerçekleşen kayıplar bildirilebilir. Bu sayede el değiştirmenin gerçekleştirilmesi için gerekli olan arabellek hakkında ya da farklı bir tekrar gönderme politikasının uygulanması hakkında fikir verebilir.

Komut Servisleri tarafından üretilen komutlar üst katmanların kanal durumunu öğrenmek veya değiştirmek, daha iyi performans elde etmek ya da el değiştirmeyi gerçekleştirmek için kullanılabilir. Komutlar yerel olarak ya da ağ üzerinden bir başka ağ birimine gönderilmek üzere uzak olarak üretilebilirler. Ağ üzerinden gönderilen uzak komutlar kullanılarak ağ tabanlı el değiştirme mekanizmaları geliştirilebilir. Standart tarafından alt katmanların ki buna fiziksel katman da dahil olabilir kontrol edilebilmesi için bazı komutlar tanımlanmıştır. Uzak komutlar İRN R1, İRN R2, İRN R3 ve İRN R5 ile iletilebilirler.

- MIH Komutları: Üst katmanlardan MIHF ’e gönderilen komutlardır. MIH Komutları içerisinde ağ seçimine yardımcı olacak MIH El Değiştirme Başlatıldı (MIH Handover Initiated) ya da MIH El Değiştirmeye Hazırlan (MIH Handover Prepare) gibi komutlar bulunmaktadır. Bu komutlardan bazıları uzak MIHF ’e gönderilmek istenebilir. Bu komutları gönderme sorumluluğu yerel MIHF ’indir. Yerel MIHF, MIH iletişim protokolünü kullanarak komutları uzak MIHF

’e gönderir. Komutların gönderilmesi esnasında üst katmanların paketlerinin gönderilmesi engellenmez.

- Kanal Komutları: MIH kullanıcısını temsilen MIHF tarafından alt katmanları kontrol etmek ve ayarlama yapmak amacıyla kullanılan komutlardır. Bu komutlar yerel komutlardır. Uzaktaki bir ağ birimine gönderilemezler. Kanal komutları teknolojiye bağlı olarak gerçeklenirler. Buna bağlı olarak da ağ teknolojisine bağlı olarak gerçeklenmektedirler.

MIH Bilgi Servisi (BS) yerel MIHF ’e ya da bir ağ elemanına bilgi sağlamak amacıyla kullanılır. BS tarafından sağlanan bilgilerin elde edilmesi için kullanıcının tek tek ağlara bağlanmasına gerek yoktur. Bağlantı noktalarına bağlanmadan bu bilgiler elde edilebilir. Bilgiler elde edilirken var olan bütün İRN ’ı kullanılabilir. Bu servis sayesinde hem mobil kullanıcı hem de ağ elemanı belirli bir coğrafi bölgeye ait heterojen ağlar hakkında bilgi elde edebilir. Bilgi Servisi bilgileri Bilgi Elementi (BE - Information Element) adı verilen yapı içinde tutar. Bu BE, karar algoritmasının daha isabetli, daha doğru karar vermesine yardımcı olmak için kullanılır. BE içerindeki bilgiler alt katmana ait bilgiler olabilir. Bu durumda bir BE içerisinde komşu ağın haritası, ağların kapsama alanı bilgileri, kanal parametreleri olabilir. Bununla birlikte, bir BE içerinde üst katmanların ihtiyacı olan bilgiler de bulunabilir. Hiçbir ağ tarafından kapsanmayan coğrafi alanlar, bazı kalite servislerinin desteklenip desteklenmediği gibi bilgiler olabilir. Temel olarak BS tarafından sağlanan bilgiler 802, 3GPP ve 3GPP2 ağlarına ait bilgilerdir. Fakat farklı ağ teknolojilerine ait bilgiler daha sonra eklenebilir. BS çoğunlukla statik ağ bilgisi vermektedir. Dinamik ağ bilgileri Komut Servisi ya da Olay Servisi kullanılarak elde edilebilir. BE bir kaç alt gruba ayrılmıştır. Bu gruplar aşağıdaki gibidir.

- Genel Bilgi (General Information): Belirli bir alanı kapsayan ağlara ait ağ tipi, operatör kimlik bilgisi, servis sağlayıcı kimlik bilgisi gibi genel bilgilerdir.
- Erişim Ağına Özel Bilgi (Access Network Specific Information): Ağ teknolojisine ve operatöre özel bilgileri içerir. Güvenlik karakteristiği, servis kalitesi bilgisi, kullanım ücreti gibi bilgilerdir.
- Bağlantı Noktasına Özel Bilgi (Point of Attachment Specific Information): Teknolojiye ve bağlantı noktasına bağlı olarak değişen özel bilgilerdir. Bağlantı

noktasının MAC adresini, coğrafi konumunu, veri gönderme oranını, kanal bilgisini elde etmek için kullanılabilir.

2.3. Akış Kontrol İletişim Protokolü

Akış Kontrol İletişim Protokolü (Stream Control Transmission Protocol – SCTP) bağlantıya dayalı iletim katmanı protokolüdür. IETF SIGTRAN çalışma grubu [IETF, 2010] tarafından ilk olarak telefon çağrı kontrollerinin sinyalleşmesine (Signalling System 7) ait gereksinimleri karşılaması için geliştirilmiştir. RFC 2960 'da tanımlanan orijinal protokol [Stewart et al., 2000] daha sonra genel bir iletim katmanı protokolü olarak kullanılması için RFC 4960 [Stewart, 2007a] ile genelleştirilmiştir. Bu protokole daha sonra başka RFC 'ler [Stewart et al., 2007b], [Stewart et al., 2004] ve [Tuexen et al., 2007] ile eklentiler de yapılmıştır. SCTP protokolü halen başka RFC 'ler ile de geliştirilmeye devam etmektedir [Dreibholz et al., 2011].

SCTP 'nin yaygın olarak kullanılan iki protokol olan TCP 'ye ve UDP 'ye benzer özellikleri olmakla birlikte bu protokollerin dışında başka kabiliyetleri de vardır. SCTP, TCP gibi bağlantıya dayalı güvenilir bir transfer protokolüdür. Yine TCP'ye benzer pencere tabanlı tıkanıklık mekanizması (window based congestion mechanism) ve akış kontrol mekanizması (flow control mechanism) bulunmaktadır. Seçici alındılama mekanizmasının (selective acknowledgement) yanı sıra kopyasız paket (non-duplicate) iletimi sağlamaktadır. TCP'nin 3 yollu el sıkışmasından (3-way handshaking) farklı olarak, SCTP 4 yollu el sıkışma (4-way handshaking) yapmaktadır. Bunun nedeni ise hizmeti engelleme (denial of service) saldırılarına engel olmaktır. SCTP, üst katman olan uygulama katmanından aldığı bilgileri parça (chunk) denen anlamlı çerçevelere ayırır. Parçalar TCP'de olduğu gibi sıralı şekilde ya da UDP 'de olduğu gibi sırasız şekilde ya da ikisinden de farklı olarak kısmi şekilde iletilebilir. Kısmi iletim sadece parçalı kesintisiz iletim (multistreaming) modunda gerçekleştirilebilir.

Parçalı kesintisiz iletim modu bir iletim modudur. Bu modda veriler karşılıklı olarak birden fazla katar (stream) içinde gönderilip alınır. Her bir katar birbirinden mantıksal olarak bağımsızdır. Kısmi iletim de katarlardan bazılarının sıralı bazılarının sırasız şekilde iletim yapmasıyla gerçekleşir.

Parçalı kesintisiz iletimin yanı sıra, TCP ‘den ve UDP ’den farklı olup SCTP ’ye has bir diğer özellik ise çok merkezliliktir (multihoming). Bu özelliğin geliştirilmesinin temel sebepleri mevcut iletişim kanalının sayısını arttırmak ve güvenilirliktir. İletişim esnasında herhangi bir nedenden dolayı iletişim kanalı kopabilir. Böyle bir durumda iki uç arasında haberleşme mümkün olmaz ve bağlantı kopar. Bunun önüne geçmek için her iki SCTP düğümü mevcut ağ arayüzü sayısında IP adresi alır. Bu IP adreslerini bir listede tutar. İlk SCTP bağlantısı kurulurken, her iki uç da, sahip oldukları IP listelerini birbirlerine gönderirler. Fakat iletişim için sadece ve sadece bir tane IP adresi kullanılır. Bu adrese birincil kanal (primary path) denir. Diğer IP adresleri alternatif olarak bulunur. İletişim birincil kanal üzerinden devam eder. Eğer bir sebepten ötürü birincil kanaldan haberleşme mümkün olmuyorsa, bu durumda otomatik olarak alternatif IP adreslerinden biri kullanılmaya başlanılarak birincil kanal değiştirilir. IP adresi değiştiği halde port numarası sabit kalmaktadır. Yeni durumda veri trafiği de yeniden yönlendirilir. Birincil kanal üzerinden haberleşme devam ederken yedek kanalların açık tutulması ve bu kanalların halen daha aktif olup olmadığının kontrol edilebilmesi için kalp atışı (heartbeat) adı verilen mesajlar yedek kanallardan doğru gönderilip alınır. Bir SCTP düğümü her yedek kanal üzerinden diğer SCTP düğümüne kalp atış mesajını gönderir. Eğer diğer SCTP düğümü buna karşılık kalp atış alındı (heartbeat ack) mesajını geri gönderirse yedek kanal yaşamına devam eder. Bir yedek kanal için belli bir sayı kadar kalp atış alındı mesajını alamayan SCTP düğümü bu yedek kanalı siler.

SCTP ’nin ilk halinde her iki ucunda iletişim esnasında ellerindeki IP listelerini güncellemelerine izin verilmemiştir. İletişim sonlanıncaya kadar IP adresleri sabit kalmaktadır. Fakat daha sonra çıkarılan bir eklenti [Stewart et al., 2007b] sayesinde dinamik olarak iletişim esnasında IP listelerini güncellemek mümkün olmaktadır. Bu eklentinin adı dinamik adres ayarlamadır (Dynamic Address Reconfiguration). Dinamik adres ayarlama eklentili SCTP ‘ye özel olarak mobil SCTP (mSCTP) de denilmektedir. Dinamik adres ayarlamada, bir SCTP düğümü iletişim devam ederken karşı tarafa güncellenmiş IP adresi listesini yollar. Diğer düğüm de buna göre elindeki IP adresleri listesini günceller. Bir SCTP düğümü herhangi bir sebepten ötürü diğer SCTP düğümüne bir mesaj göndererek birincil kanalı değiştirebilir. Bu özellik, hem yatay hem de dikey el değiştirmeyi mümkün kılmaktadır.

2.3.1. Bağlantı Kurma

Aşağıdaki adımlarda istemci ile sunucu arasındaki SCTP bağlantısının oluşturulması anlatılmıştır.

- İstemci sunucuya INIT mesajı gönderir. Bu mesaj içinde başlangıç doğrulama etiketi, alıcı pencere büyüklüğü, alınan akış sayısı, gönderilen akış sayısı ve iletim dizi numarası bulunur.
- Sunucu aldığı INIT mesajını analiz eder ve gerekli değerleri içeren bir mesaj üretir. Bu mesaj için MD5 ya da SHA-1 algoritmaları ile üretilmiş güvenli anahtarlama değeri (secure hash value) ve gizli anahtar (secret key) oluşturur. Daha sonra üretilen güvenli anahtarlama değerini ve mesaj kimlik denetim kodunu (message authentication code, MAC) mesajın içindeki COOKIE parametresi kısmına yazar. Bu işlemler bittikten sonra INIT_ACK mesajını istemciye gönderir.
- İstemci aldığı INIT_ACK mesajının içindeki COOKIE parametresine ait değeri kopyalar ve sunucuya COOKIE_ECHO mesajını gönderir.
- Sunucu aldığı COOKIE_ECHO mesajı içindeki güvenlik verilerini kendi ürettiği verilerle karşılaştırır. Eğer veriler uyuşursa bağlantı kurulmuş olur. Sunucu istemciyi bilgilendirmek amacıyla COOKIE_ACK mesajını istemciye gönderir ve gerçek veri transferi başlamış olur.

2.3.2. Veri Alışverişi

Aşağıdaki adımlarda istemci ile sunucu arasındaki SCTP bağlantısı ile nasıl veri alışverişi yapıldığı anlatılmaktadır.

- İstemci/Sunucu karşı tarafa (sunucu/istemci) veri mesajı (DATA Chunk) gönderir. Her veri mesajı içinde bir dizi numarası, hangi akıştan geldiğini belirten akış kimlik numarası ve akışa ait dizi numarası bulunur.
- Veri paketini alan sunucu/istemci veri alındı mesajı (SACK Chunk) üretir ve karşı tarafa gönderir. Bu mesaj içinde alınan son mesaja ait birikimli alındı dizi numarası (Cumulative TSN ACK), pencere değeri, alındı blokları arasındaki

boşlukları belirten bilgiler ve tekrarlamış alındı dizi numaralarının sayısı bulunur.

2.3.3. Dinamik Adres Ekleme

Aşağıdaki adımlarda istemci ile sunucu arasındaki SCTP bağlantısına nasıl IP adresi eklendiği anlatılmıştır.

- İstemci sunucuya "IP Adresi Ekle" belirteçli adres yapılandırma mesajı (ASCONF) gönderir. ASCONF [Add IP Address] içinde sunucunun eklemesi gereken IP adresinin versiyonu (IP v4 ya da IP v6) ve IP adresinin kendisi bulunur.
- Sunucu aldığı ASCONF mesajını okur. Mesaj içindeki IP adresini bağlantıya ekler fakat bu adresi kullanmaya başlamaz. İstemciyi bilgilendirmek adına karşılık olarak ASCONF_ACK mesajını gönderir.

2.3.4. Dinamik Adres Değiştirme

Aşağıdaki adımlarda istemci ile sunucu arasındaki SCTP bağlantısının birincil IP adresinin iletişim devam ederken nasıl değiştiği anlatılmıştır. Burada istemcinin en az iki farklı IP adresi vardır.

- İstemci sunucuya "IP Adresini Değiştir" belirteçli ASCONF [Set Primary Address] mesajını gönderir. Bu mesaj içinde istemcinin sahip olduğu birincil adresten farklı olan bir IP adresi bilgisi bulunmaktadır.
- Sunucu değişim mesajını aldıktan sonra göndereceği yeni mesajları yeni IP adresi üzerinden göndermeye başlar. Yeni IP adresini aldığını istemciye bildirmek için ASCONF_ACK mesajını da yine yeni IP adresine gönderir.

2.3.5. Adres Silme

Aşağıdaki adımlarda istemci ile sunucu arasındaki SCTP bağlantısına ait alternatif IP adresinin silinişi anlatılmaktadır.

- İstemci sunucuya "IP Adresini Sil" belirteçli ASCONF [Delete IP Address] mesajını gönderir. Bu mesaj içinde istemcinin sunucunun silmesini istediği IP adresi bilgisi bulunmaktadır.
- Sunucu ASCONF_ACK mesajı ile IP adresini sildiğini istemciye bildirir.

2.3.6. Bağlantı Sonlandırma

Aşağıdaki adımlarda istemci ile sunucu arasındaki SCTP bağlantısının sonlandırılışı anlatılmaktadır. Bu protokolde, TCP'de olduğu gibi, tek yönlü iletişim (half duplex) özelliği yoktur. Bağlantı her iki uç birim tarafından sonlandırılır.

- İstemci ya da sunucu karşı tarafa bağlantıyı sonlandırma mesajı (SHUTDOWN) gönderir.
- Sonlandırma mesajını alan taraf ise kapatma isteğini gönderen tarafa kapatma alındı mesajını (SHUTDOWN_ACK) gönderir. Böylelikle kapatma mesajını ilk gönderen taraf artık veri gönderemez.
- Aynı kapatma isteğini diğer tarafta yapar ve kapatma isteği alındı mesajını almasıyla birlikte sunucu ile istemci arasındaki SCTP bağlantısı tamamen kopar.

3. KONU ile İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Yakın geçmişte el değiştirme üzerine pek çok metot önerilmiştir. Bu tez çalışmasında enerji verimliliği sağlayan el değiştirme karar algoritmaları ve SCTP ile el değiştirme yöntemleri üzerine literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Enerji verimliliği sağlayan el değiştirme karar algoritmalarından birinde bulanık mantık tabanlı bir algoritma kullanılmıştır [Calhan and Ceken, 2011]. Algoritma her mevcut ağ için parametre olarak RSS değerini, pil seviyesini, kullanıcı hızını ve iş çıkarma oranını alır. Bu çalışmada uygulamaların gereksinimlerine bağlı olarak iş çıkarma oranı ve mevcut kablosuz ağ teknolojisine bağlı olarak RSS değeri dinamik olarak değiştirilir. Bu değişimlerin sağlanması amacıyla bu iki parametrenin GPRS, GSM gibi alt sınıflarına özel üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Algoritma her ağ için APCV (Access Point Candidancy Value) değerini bulur. En yüksek APCV değerine sahip ağ en iyi ağı göstermektedir. Önerilen metottaki pil seviyesi parametresi sadece belli keyfi ya da zorunlu el değiştirme yapılıp yapılmayacağını belirlemek amacıyla kullanılır. Eğer pil seviyesi %40'ın altında olursa sadece zorunlu durumlarda bağlantının kopmaması için el değiştirme yapılır. Servis kalitesi önemsenmez. Bu çalışmanın avantajı GSM, GPRS, UMTS, Wi-Fi ve WiMAX'i desteklemesidir. Ayrıca kullanıcının hızı düşünülerek el değiştirme yapılmaktadır. Dezavantajları ise Ping-Pong etkisine bir çözüm sunmamış olmasıdır.

Bir diğer çalışmada iki farklı el değiştirme algoritması önerilmiştir [Tran et al., 2012]. Bu algoritmalardan biri bulanık mantık temellidir. Her iki algoritma da RSS değerini, iş çıkarma oranını, CPU yük değerini, beklenen güç harcama değerini parametre olarak kullanır. Bu çalışmada TCP ve UDP tabanlı uygulamaların UMTS ve WLAN ağlarındaki pil harcama modeli çıkarılmıştır. Model sayesinde her uygulamanın aday kablosuz ağda beklenen enerji harcama değeri bulunur. Bulanık mantık temelli E-Fuzzy algoritmasına önce mevcut ağlar bulunur. Bu ağlara ait parametreler bulanıklaştırılır ve sonra berraklaştırılır. Her ağ için PEV (Performance Evaluation Value) bulunur. En yüksek PEV değerine sahip ağ en iyi ağı göstermektedir. Bu çalışmada Ping-Pong etkisinin önlenmesi için geçiş kararı için ağ değerleri karşılaştırılırken el değiştirme maliyeti de hesaba katılır. Normal bir algoritma olan E-RSS algoritmasında, enerji modeli kullanılarak beklenen güç harcama değeri bulunur. Daha sonra aday ağların RSS değerlerine ve enerji harcama

değerlerine bakılır. Eğer mevcut ağ dışındaki bir ağa geçildiğinde daha az enerji harcanacağı düşünülüyorsa ve aday ağın RSS değeri kullanılan ağın RSS değerinden yüksek ise geçiş kararı verilir.

Bir diğer çalışmada ise kullanıcının bir ağa bağlı kalma süresi ile mevcut ağları tarama süresi arasındaki ilişkiye göre karar veren bir verimli el değiştirme karar algoritması önerilmiştir [Desset et al., 2009]. Bu çalışmada WiMAX ve Wi-Fi için belli bir paketin gönderilmesi ve alınması için harcanan enerjinin modeli çıkarılmıştır. Bu modele göre o anda kuyruktaki paket sayısına ve bir ağa bağlanma süresine bakılarak karar verilir. Yapılan çalışmada iki durum üstüne durulmuştur. Birinci durumda tarama aralığının süresi ağa bağlı kalma süresinden daha düşük olabilir. Bu durumda ağa bağlanma kuvveti yüksek olacağı için iletişim hattının istikrarlı olduğu düşünülerek enerji harcama hesabı yapılır. Diğer durumda ise tarama süresinin aralığı bağlı kalma süresinden uzun olabilir. Bu durumda ise hattın istikrarlı olup olmadığından emin olunamaz. Hatta çok fazla veri kaybı olabilir. Bu durumda veri alışverişi sağlıklı olarak yapılamaz. Çalışmada bu durum da düşünülerek ilk duruma ait hesaplamaları da içine alan enerji harcama hesabı önerilmiştir. El değiştirme için bütün ağlar taranır ve beklenen enerji harcama değerleri bulunur. Eğer kullanılan ağdaki enerji harcama değeri mevcut herhangi bir ağdan fazla ise en az enerji harcanması beklenen ağa geçiş kararı verilir.

Servis kalitesini de düşünerek enerji verimliliği sağlayan bu metotta 3 yardımcı modül ve 1 ana modül bulunur [Xenakis et al., 2011]. RTMM (Real-time Monitoring Module) ortamdaki ağlar hakkında bilgi toplamaktadır. Bu çalışmada kararın doğru verilmesini sağlamak amacıyla 10'dan fazla parametre kullanıldığı söylenmiştir. CFM (Context-Fusion Module) Toplanan değerleri işler ve ana modüle sunar. Bu modülün bir diğer özelliği ise RTMM modülüne toplaması gereken modüller konusunda müdahale edebilmesidir. NDM (Network Discovery Module) 'in görevi ortamdaki ağları tarayıp ana modüle bildirmesidir. VDE (Vertical Handover Decision Engine) ise ağ listesini ve ağlara ait bilgileri alarak bir karar verir. El değiştirme prosedürü RSS değerine, servis kalitesinin durumuna ve pil seviyesine bakılarak başlatılır.

Ağ arayüz kartlarının (NIC) enerji harcama durumları düşünülerek yapılan çalışmalar da mevcuttur. WISE adı verilen çalışmada NIC 'ler arasında seçim kararı verilmektedir [Nam et al., 2004]. Bu çalışmada 3G ve WLAN ağları birbirine entegre edilmiştir. VDC (Virtual Domain Controller) adı verilen yönetim birimi çekirdek

ağda bulunmaktadır. Mobil cihaz gelen ve giden paketlerin istatistiğini tutar. Bu bilgilere bağlı olarak ortamdaki mevcut ağlardan hangisini kullanırsa en az enerji harcayacağını bulur. Daha sonra VDC yönetim birimine el değiştirme isteği gönderir. Eğer geçilmek istenen ağdaki ağ yoğunluk durumu müsaitse geçiş isteği onaylanır. Aksi halde de reddedilir. Bu çalışmadaki bir diğer önemli unsur da sadece gelen kanalın ya da giden kanal için el değiştirme yapılabilmesidir. Örneğin gelen kanaldan çok fazla veri geliyorsa WLAN NIC kullanılır. ACK paketlerinin gönderilmesi içinse 3G NIC kullanılabilir. Bu durumda WLAN NIC 'in giden kanalı ve 3G NIC 'in gelen kanalı kapalı haldedir.

Yukarıda bahsi geçen çalışmaya benzer olan çalışmada ise ağ taramasının azaltılması amaçlanmıştır [Jin et al., 2011]. Ağ taramasının periyodik olarak belli aralıklarla yapılması, örneğin 1 saniye, NIC 'lerin her saniye açılıp kapatılması anlamına gelmektedir. Sürekli olarak açmanın ve kapatmanın enerji ve diğer maliyetlerini en aza indirmek için tümegönderim paketleri belli aralıklarla gönderilir. Bu paketlerin içinde ortamdaki mevcut kablosuz ağ teknolojilerinin bilgisi bulunmaktadır. Bu sayede mobil kullanıcı ağ taraması için diğer NIC 'leri açmak durumunda kalmaz. NIC seçimine karar verilirken mobil cihaz üzerinde çalışan uygulamalara bakılır ve her mevcut ağ değeri için APSV (Access Point Suitability Value) değeri bulunur. En yüksek APSV değerine sahip ağ en iyi ağı göstermektedir.

Ağ kullanım ücreti de düşünülerek enerji verimliliği sağlayan çalışmada IEEE 802.16e (WiMAX) ile IEEE 802.11b arasında el değiştirme karar algoritması önerilmiştir [Choi and Choi, 2007]. WiMAX 'in her zaman erişilebilir olduğu varsayılmıştır. Bu durumda sadece mobil kullanıcının erişebildiği WLAN erişim noktaları için tarama yapılmaktadır. Tarama için harcanan enerjinin düşürülmesi için WiMAX baz istasyonlarının yatay el değiştirme için kullandığı tümegönderim paketinin opsiyonel kısmı değiştirilmiştir. Ayrıca kullanıcı belirlenen belli bir hızın üzerinde ise herhangi bir WLAN ağına dikey el değiştirmenin fayda getirmeyeceğini düşünülerek ağ taraması yapılmamaktadır. El değiştirme için mevcut ağlar arasında değerlendirme yapılırken ağın kullanma maliyeti de hesaba katılmaktadır.

Ağ taramasını azaltarak enerji verimliliği sağlayan çalışmada ise bir maliyet fonksiyonu kullanılarak karar verilmektedir [Liu et al., 2009]. Kararın verilmesindeki temel parametreler kalite servisi ve RSS değerleridir. Karar algoritması her ağ için bir maliyet değeri bulunur. En az maliyetli olan ağ en uygun ağı göstermektedir. Ayrıca kullanılan ağdan ne zaman kopulması beklendiğini üzerine tahmin yapılarak

gereksiz ağ tarama işleminden kaçınılmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, MIH standardından faydalanılarak ağ haritası bilgisi alınmakta ve ortamdaki her ağ için değil sadece bilinen ağlar için tarama yapılmaktadır. Bu çalışmada 3G, WLAN ve WiMAX teknolojileri üzerinde çalışılmıştır. Uygulama katmanında uygulamaların iletişimlerinin devam ettirilmesini sağlamak amacıyla SIP protokolü kullanılmıştır.

IEEE 802.21 standardının belirli bir kısmı değiştirilerek enerji verimliliği sağlayan bu çalışmada ağ tarafından mevcut ağların bilgisi mobil kullanıcıya bildirilmektedir [Bastos et al., 2012]. Bunun için standart içinde yer alan bilgi servisi kullanılmaktadır. Mobil kullanıcı ağ taraması yapmak yerine mevcut ağ bilgisini bu servis tarafından alır. Çalışmanın bir diğer katkısı ise NIC 'lerin farklı modları (gönderme, alma, bekleme, uyuma) düşünülerek enerji verimliliği sağlamak amacıyla ağ arayüz kartlarının yönetimi yapılmasıdır. NIC 'lerin modları arasında geçiş yapılırken ortaya çıkan maliyetler de hesaba katılarak geçiş kararı verilmektedir.

İncelenen son çalışmada ise derecelendirmeye bağlı olarak ağ seçimi yapılmaktadır [Zekri et al., 2011]. Her mobil kullanıcı el değiştirme işlemini yapmadan evvel bulunduğu ağı değerlendirip yönetim birimine göndermektedir. Ağ çekirdeğinde bulunan yönetim birimi bu bütün kullanıcılardan gelen bu bilgilere göre her ağa bir derece vermektedir. Bir kullanıcı bir ağdan çıkıp başka bir ağa bağlanmak istediği durumda yönetim birimi ile irtibata geçer ve ortamda taradığı ağlara ait derecelendirme bilgisini alır. Son olarak bu bilgilere bakarak en üst dereceli ağa bağlanır. Yönetim biriminin bir diğer görevi de ağ yükünün dengelemesini yapmaktır. Mevcut ağlara ait bilgilerin mobil kullanıcıya bildirilmesi sayesinde enerji verimliliği sağlanmaktadır.

4. ÖNERİLEN EL DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ

Bu kısımda önerilen metot detaylı olarak anlatılmaktadır. Öncelikle genel olarak çalışmanın daha kolay anlaşılabilmesi için mimariden bahsedilmiştir. Daha sonra bu mimarinin içi detaylarıyla anlatılmaktadır.

4.1. Mimari Yapı

Önerilen el değiştirme çerçevesi bir ana yönetim birimi ve 2 yardımcı modülden oluşmaktadır. Her birimin yapması gereken iş diğerinden farklıdır. Çerçevenin ana yönetim birimi El Değiştirme Yöneticisi (HOM) 'dir. Bu modül el değiştirme işlemini yönetir. Yardımcı modüllerden birincisi Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Modülü (MIHM) 'dür. Bu modül ağ bilgisini alır ve ortamdan bağımsız el değiştirme işleminin gerçekleştirilmesinden sorumludur. Sonuncu yardımcı modül ise Ağ Değerlendirme Modülü (NEM) 'dür. Mevcut ağları değerlendirir ve her biri için bir kalite değeri bulur.

4.2. Ağ Değerlendirme Modülü

Ağ Değerlendirme Modülü mobil cihaz üzerinde çalışan uygulamaların gereksinimlerine bağlı olarak minimum gerekli ağ değerini bulur. Daha sonra kendisine verilen ağlara ait bilgileri kullanarak her ağ için bir ağ kalite değeri (NQV) bulur. Son olarak da bu bilgileri karar vermesi için HOM 'a gönderir.

Ağlar, Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP) kullanılarak değerlendirilir. AHP, alternatiflerin birden fazla ölçüte göre değerlendirilmesine ve seçim yapılmasına yarayan bir yöntemdir. Olası seçenekler arasından ihtiyaca en uygun olanın belirlenmesi için kullanılır. Bu çalışmada da mevcut alternatif ağlar arasında en iyi olan aday ağı seçmek için kullanılmaktadır. Ağların değerlendirilmesi için her ağa ait belirli parametreler kullanılır. Kullanılan parametreler bütün ağlar için ortak olmalıdır. Bir ağa ait özel bir parametre bir başka ağa için geçerli olmadığından, aynı işlevi görmediğinden kullanılamaz. Fakat bir ağ için belirli bir şeyi ifade eden bir değer, bir başka ağda farklı bir isimle ifade edilse dahi aynı işlevi gördüğü için

kullanılabilir. Bu çalışmada ağlar RSSI değerine, throughput (TP) değerine, gecikme değerine (D), beklenen enerji harcama değerine (EPC) ve hıza (SPD) bakılarak değerlendirilir.

Mobil cihaz üzerinde çalışan uygulamalar temel olarak ikiye ayrılmıştır. Bu iki sınıf, gerçek zamanlı uygulamalar dediğimiz real-time uygulamalar ve gerçek zamanlı uygulamalar dışı olan best-effort uygulamalar şeklindedir. Uygulamaların bu şekilde ayrılmalarının sebebi uygulama ihtiyacını karşılayacak ağın seçimini sağlamaktır. Aksi halde servis kalitesi düşük olabilir. Uygulamalar farklı oldukları için ihtiyaçları da farklıdır. Dolayısıyla sınıfların ağırlık değerleri de farklı olmalıdır. Bu iki uygulama sınıfına ait önceden AHP süreci uygulanarak belirlenen beş parametre değeri Tablo 4.1 'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Her uygulama sınıfına ait parametrenin ağırlığı.

Uygulama Sınıfı	RSSI	Throughput (TP)	Gecikme (D)	Beklenen Enerji Harcama Değeri (EPC)	Hız (SPD)
Real-time	0,29	0,2	0,29	0,11	0,11
Best-effort	0,3	0,3	0,16	0,11	0,12

Cihaz üzerinde çalışan uygulamaların isteklerine ve ağırlık değerlerine göre gereken ağ kalite değeri Q_{min} formül (4.1) kullanılarak bulunmaktadır.

$$Q_{\min} = \left(W_{RSSI} * \mathrm{RSSI}_{\min}\right) + \left(W_{TP} * TP_{\min}\right) + \left(W_{D} * \mathrm{D}_{\min}\right) + \left(W_{EPC} * EPC_{\min}\right) + \left(W_{SPD} * SPD_{\min}\right) \quad (4.1)$$

Bu formülde yer alan W_{RSSI} , W_{TP} , W_D , W_{EPC} ve W_{SPD} değerleri her parametreye ait ağırlıkları ifade etmektedir. $RSSI_{min}, TP_{min}, D_{min}, EPC_{min}$değerleri de cihaz üstünde o anda çalışan uygulamaların gereksinimlerine göre belirlenir. SPD_{min} değeri ise kullanıcının hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Her bir kablosuz ağa ait ağ kalite değeri Q_i de formül (4.2) 'de belirtilen formül yardımıyla bulunur.

$$Q_i = \left(W_{RSSI} * \mathrm{RSSI}_i\right) + \left(W_{TP} * TP_i\right) + \left(W_D * \mathrm{D}_i\right) + \left(W_{EPC} * EPC_i\right) + \left(W_{SPD} * SPD_i\right) \quad (4.2)$$

Bu formülde yer alan ağırlıklar formül (4.1) 'de yer alan ağırlıklarla aynıdır. Formülde yer alan parametrelerden beklenen enerji harcama değeri EPC diğer $RSSI$, throughput ve gecikme değerlerinin aksine MIIS tarafından alınmaz ancak hesaplanır. EPC değerinin hesaplanması formül (4.3) 'de gösterilmiştir [Huang et al., 2012].

$$EPC_i = \left(TP_i * \alpha_n\right) + \beta_n \quad (4.3)$$

TP_i değeri aday ağa ait throughput değeridir. Formülde gösterilen $\propto_n$ değeri ise mevcut aday ağın ait olduğu kablosuz ağ teknolojisine göre değişen veri gönderme enerji değeridir. Parantezli ifade olan $(TP_i * \propto_n)$ veri göndermek için harcanacak enerji değerini vermektedir. Kablosuz teknolojilerde veri gönderme, veri alma ve bekleme gibi modlar arasında geçiş yapılır. Daha çok kaynak gerektiren moddan daha az kaynak gerektiren moda geçerken ortam kaynaklarının hemen bırakılmaması ve belirlenen kuyruk süresi boyunca zorunlu olarak elde tutulması sebebiyle enerji kaybı olmaktadır. Bu durumlarda throughput değeri 0'dır. Formüldeki β_n değeri ortalama kaçınılmaz enerji kaybını yani throughput değerinin 0 olduğu durumda ağ teknolojisinin harcadığı değeri ifade etmektedir. Farklı kablosuz ağlara ait α_n ve β_n değerleri değeri Tablo 4.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Ağ teknolojisine ait NIC 'lerin enerji harcama değerleri.

Ağ Teknolojisi	$\alpha\ (mW/Mbps)$	$\beta\ (mW)$
LTE	438.39	1288.04
3G	868.98	817.88
WiFi	283.17	132.86

Bu tablodaki değerler gerçek ölçümler sonucunda elde edilmiştir [Huang et al., 2012]. Bu çalışmada da buradaki değerler kullanılarak beklenen enerji harcama değeri bulunmaktadır.

En iyi ve en kötü RSSI değerleri kullanılan kablosuz teknolojiye ve üreticiye bağlı olarak değişmektedir. 3G teknolojilere ait en iyi RSSI değeri kablosuz LAN ağlarındaki en iyi değerini göstermemektedir. Örneğin bir firmaya ait NIC 'ın RSSI değeri 0 ile 60 arasında değişirken bir başka firmaya ait RSSI değeri 0 ile 100 arasında değişebilmektedir. Bu sorunun çözümü için RSSI değerlerinin AHP süreci içinde kullanılmadan önce normalleştirilmesi gerekir. Herhangi bir RSSI değerinin normalleştirme işlemi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$RSSI_{normalized} = \frac{RSSI_{measured} - RSSI_{\min}}{RSSI_{\max} - RSSI_{\min}} \tag{4.4}$$

Bu formüle göre ölçülen RSSI değeri $RSSI_{measured}$, kablosuz ağa bağlı olan $RSSI_{max}$ ve $RSSI_{min}$ değerlerine bağlı olarak bu aralıktaki uygun değere ayarlanır. Örneğin, $RSSI_{measured}$ değeri $RSSI_{min}$ olursa 0 veya $RSSI_{max}$ olursa 1 değerini alır. Minimum ve maksimum arasındaki değerler de 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bütün kablosuz ağ teknolojileri için normalleştirilmiş RSSI değerinin hesaplanması bu şekildedir.

4.3. Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Modülü

Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Modülü temelde IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değiştirme Servisleri standardının gerçeklenmiş halidir. Dolayısıyla bu standardın sağladığı ortamdaki ağlar hakkında bilgi toplama, bağlantı kanalları hakkındaki olayları bildirme, bağlantı katmanındaki olayların yönetimi için emirler verme ve benzeri gibi fonksiyonları sağlamaktadır. Bununla birlikte, MIHM 802.21 standardından farklı olarak bu standardın henüz gerçeklemediği ortamdan bağımsız el değiştirme işlemini de gerçekleştirmektedir.

4.3.1. Mevcut Ağlar Hakkında Bilgi Toplama

Mobil kullanıcı bir ağa bağlanmadan önce bulunduğu ortamdaki ağlara ait bilgileri toplamalıdır. Bu sayede hangi ağa bağlanması gerektiğini topladığı bilgiler yardımıyla bulur ve en uygun ağa bağlanır. MIHM ‘in bir görevi de mobil kullanıcının bulunduğu ortamın konum bilgisini ve kablosuz ağlar hakkındaki diğer bilgileri sağlamaktır. Bu bilgiler MIIS tarafından ağ üzerinde bulunan bir bilgi sunucusundan getirilir. Bilgilerin elde edilme süreci aşağıdaki gibidir.

- Mobil cihaz üzerindeki MIH kullanıcısı (MIHU) İRN R1 noktasına MIH Get Information isteği gönderir.
- İRN R1 noktası da bu isteği ağ üzerindeki ağ bilgi sunucusuna gönderir.
- Ağ bilgi sunucusu MIH Get Information cevabını İRN R1 noktasına gönderir.
- Cevabı alan İRN R1’de bu bilgiyi mobil kullanıcının MIHF ’e gönderir.

4.3.2. Ortamdan Bağımsız, Az Kayıp ve Gecikme ile El Değiştirme

MIES servislerinin sağladığı fonksiyonlar yardımıyla el değiştirme işlemi yönetimi yapılır. Mobil kullanıcı bağlı olduğu servis erişim noktasından uzaklaşması ya da bir engelin kendisi ile servis noktası arasına girmesi sebebiyle RSS değeri düşer. Bu değer her teknoloji için farklı olmakla birlikte belirli bir seviyenin altına düştüğü zaman MIH Link Going Down olayı alt katmanlar tarafından üretilir. Bunun yanı sıra, servis kalitesinin düşmesi durumunda da MIHU tarafından MIHF ’e emir verilerek el değiştirme işlemi başlatılabilir. MIH Link Going Down olayın üretilmesinin sebebi mobil kullanıcının yakın bir zaman içerisinde iletişimi kaybedeceğini gösterir. Üretilen olay bilgisi MIHF tarafından MIHU ‘ya gönderilir. Buradaki MIHU gerçekteki MIHM ’dir. Ağlar hakkında bilgi toplanıp belirli bir ağ seçilir. Seçilen ağa el değiştirme işlemi aşağıdaki anlatılan sırada gerçekleşir.

- NIC tarafından MIH Link Going Down olayı üretilir ve MIHF ’e bildirilir.
- MIHF tarafından alınan MIH Link Going Down olayı sonucunda MIHM HOM ’u bilgilendirir.
- HOM MIHM ’e MIH Switch isteğini gönderir.

- MIHM de bu isteği MIHF ’e iletir.
- Yeni ağ için IP adresi alınır ve alt katman tarafından MIHF ’e bildirilir.
- MIHM protokole yeni IP adresini ekler.
- MIHM HO Commit ile de yeni IP adresini aktifleştirir.
- MIHM HO Complete bildirimi ile HOM ’u bilgilendirir.

4.4. El Değiştirme Yöneticisi

El Değiştirme Yöneticisi ’nin temel görevi, isminden de anlaşılacağı gibi, mobil cihazın el değiştirme işlemini yönetmektir. El değiştirme işleminin başlatılmasını bu birim sağlar. Yardımcı modüllerle iletişim kurarak hangi ağın el değiştirme için en uygun aday olduğuna karar verir. Bununla birlikte geçmiş ağlara ait bilgilerin tutulduğu Ağ Geçmişi Tablosu ’nu (NHT) tutar.

4.4.1. Ağ Geçmişi Tablosu

Mobil kullanıcının önceden ziyaret ettiği ağlara ait bilgilerin tutulduğu tablodur. Kullanıcı yeni bir alana girdiği zaman yer bilgisine göre mevcut alanda önceden ziyaret edilmiş bilinen bir erişim noktası olup olmadığına bakılır. Eğer varsa kapsamlı ağ taraması yapılmaz, ertelenir. Bu ziyaret edilmiş ağların hala mevcut olup olmadığı kontrol edilir. Listedeki hiçbir ağa erişim sağlanmıyorsa yeni bir ağ keşfetmek için tarama yapılır. Bu tablo her el değiştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra güncellenir. Güncelleme sadece o lokasyondaki ağlar için yapılmaktadır.

NHT içinde tutulan bilgiler erişim noktası kimlik adresi, coğrafi konum bilgisi, ağ kalite değeri, ağ derecesi ve ağ teknolojisidir. Bir ağ erişim noktasının diğerinden ayırt edilebilmesi için erişim noktası kimlik adresi tabloda tutulur. Coğrafi konum bilgisi, ziyaret edilen ağın nerede olduğunun bulunması için kaydedilen bilgidir. Tıpkı Küresel Konumlama Sistemi’nde (GPS) olduğu gibi enlem ve boylam bilgisini tutar. Bu bilgi mobil kullanıcıya IEEE 802.21 içinde yer alan MIIS tarafından verilir. Ağ kalite değeri bir erişim noktasının ne kadar iyi hizmet verebileceğini gösterir. Her erişim noktası mobil cihaz üzerinde çalışan uygulamaların isteklerini karşılayıp karşılamadığını belirlemek için değerlendirilir. Bu değer NEM tarafından belirlenir. Ağ derecesi belli bir alan içindeki ağların diğer ağlara göre üstünlüğünü belirten

değerdir. Pek çok e-ticaret sitesinde ürün satanların alıcılar tarafından derecelendirilmesi gibi her ağın bir memnuniyet derecesi vardır. Derecesi en yüksek olan ağ o konumdaki en iyi ağı göstermektedir. Mobil cihaz el değiştirme için adayları sınarken derecesi en yüksek olan ağdan başlar. Ağların derecesi güncellenirken anlık derece bilgisi olan $rv_{AP[i]}$ değeri bulunur.

$$rv_{AP[i]} = \begin{cases} +1 & ,Q_i > Q_{\min} \;\&\; \sum_{j=0}^{n} Q_i > \mathrm{Q}_j, i \neq j \\ -1 & ,Q_i \leq Q_{\min} \end{cases} \tag{4.5}$$

Üstte yer alan formülde gösterilen $rv_{AP[i]}$ değeri NHT 'de yer alan ve mobil kullanıcının bulunduğu konumdaki aday kablosuz ağdır. Eğer bir aday ağın değeri gereken NVQ değerinden yüksek ise ve HOM tarafından geçiş için seçilirse anlık derecesi +1 olur. Aday ağın gereksinim değeri gereken değerden yüksek ise fakat en iyi değere sahip olmadığı için seçilmezse herhangi bir güncelleme yapılmaz. Son olarak, eğer aday ağın değeri gereksinim değerinden düşük ise anlık derecesi -1 olarak belirlenir. Aday ağa ait indirgenme ve yükseltgenme için aşağıda belirtilen formül kullanılmaktadır.

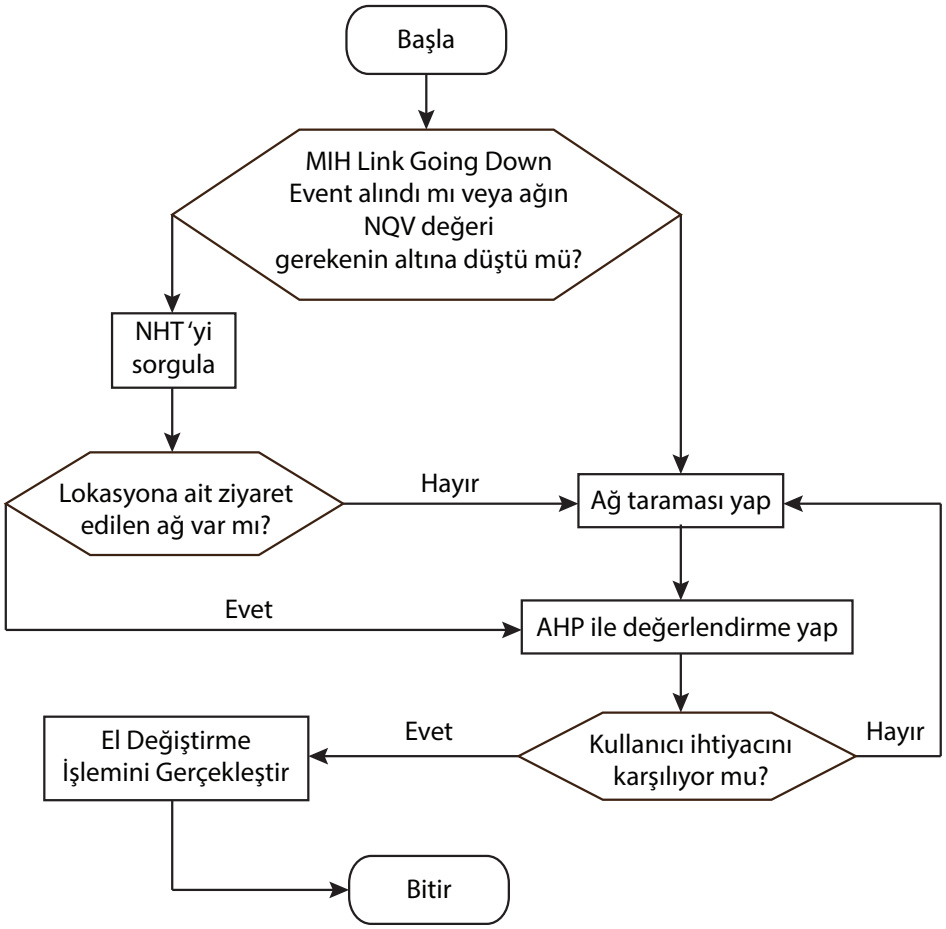
$$RV_{AP[i]} = \begin{cases} rv_{AP[i]} & ,t = 1 \\ \left((1-\theta) * RV_{AP[i]}(t-1)\right) + \left(\theta * rv_{AP[i]}(t)\right) & ,t > 1 \end{cases} \tag{4.6}$$

Bu formüle göre aday ağ ilk defa seçiliyorsa ağ derecesi direk olarak anlık derece bilgisi olur. Eğer daha önce ziyaret edilmiş bir ağ ise geçmiş ağ derecesi ile anlık ağ derecesi belli ağırlıklarla çarpıldıktan sonra güncellenir. Bu güncelleme yapılırken durağan zaman serilerini modellemede kullanılan ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) yöntemi kullanılmıştır. ARIMA değişkenlerin gelecek değerlerinin tahminini yapmaya yarayan bir metottur. Bir sonraki değerin bir önceki değere bağlı olacağı varsayımı üzerine kurulmuştur. Modelin birinci derecesi hareketli ortalamayı vermektedir. Bu çalışmada da geçmiş ağ derecesine bağlı olarak bir sonraki ağ derecesini elde etmek amacıyla bu yöntem kullanılmıştır. Formülde yer alan θ değeri 0 ile 1 arasında olan bir ağırlık değeridir. Bu değerin yüksek olması durumunda anlık dereceye önem verilir. Bu değerin düşük

olması durumunda da geçmiş ağ derecesi bilgisine önem verilmektedir. Bu ağırlık değeri dinamik olarak da değiştirilebilir. Örneğin ilk 20 kullanışta anlık değer daha çok önemsenebilir. Daha sonra geçmiş ağ derecesinin daha çok önemsenmesi için θ değeri düşürülebilir. Son bilgi olan ağ teknolojisi bilgisi ise yatay ve dikey el değiştirme arasında seçim yapmak için tutulur. Yatay el değiştirmenin dikey el değiştirmeye göre daha hızlı ve daha az maliyetli olması sebebiyle, öncelik homojen ağlar arasında yapılması yönündedir. Buna bağlı olarak derece değerinin yanı sıra hali hazırda kullanılan ağ ile diğer ağın teknoloji bilgisi karşılaştırılarak karar verilir.

4.4.2. El Değiştirme Algoritması

El değiştirme işlemi ile ilgili süreç HOM tarafından yönetilir. Sürecin başlaması MIHM ‘den gelen bağlantı gücünün zayıflaması bildirimi ile ya da servis kalitesinin gerekenden daha düşük olması halinde üretilen bildirim iledir. El değiştirme prosedürü iki farklı şekilde ilerlemektedir. Birincisinde NHT tablosunda yer alan yani daha önce ziyaret edilmiş ağlar arasında geçiş yapılması durumudur. İkinci durum ise mobil kullanıcının bulunduğu konuma ait herhangi bir ağın NHT ‘de bulunmaması durumudur. İkinci durumda süreç birinci duruma göre bazı noktalarda daha farklı ilerlemektedir.



Şekil 4.1: El değiştirme algoritması.

4.4.2.1. Konuma Ait Ziyaret Edilmiş Ağların Bulunması Durumu

HOM 'un MIHM tarafından gönderilen MIH Link Going Down bildirimini alınması durumunda ya da servis kalitesinin düşmesi durumunda el değiştirme süreci başlar. Servis kalitesinin periyodik kontrolünü HOM NEM 'e yaptırmaktadır. HOM tıpkı mevcut ağların değerlendirmesinin yapılması gibi mevcut kullanılan ağın belli aralıklarda NEM tarafından kontrol edilmesini sağlar. El değiştirme sürecinde ilk aşama olan mevcut ağlar hakkında bilgi toplama aşamasına geçilir. Bu aşamada HOM, mobil kullanıcının konum bilgisi ve ağlar hakkındaki diğer gerekli bilgiler için MIHM 'e MIH Get Information isteği gönderir. Bu istek MIHM tarafından kabul edilir ve mobil kullanıcının kapsama alanına giren mevcut ağlar hakkında bilgiler toplanır. Elde edilen bilgiler NEM 'e iletilmesi için HOM 'a gönderilir. HOM önce NHT üzerinde konum bilgisine göre ortamdaki ağların daha önce ziyaret edilip edilmediğine bakar. NHT içindeki aramanın sonucuna göre tabloda mevcut aday

ağlara ait en az bir girdi yani önceden o konumda ziyaret edilmiş kablosuz ağ bulunmaktadır. Tablodaki ziyaret edilmiş ağın daha önce ziyaret edilmiş ve memnun kalınmış olabilir. Fakat herhangi bir sebepten ötürü o an için de olsa ağın kalitesi düşmüş olabilir. Buna örnek olarak erişim noktasının çok fazla kullanıcıya servis vermesi gösterilebilir. Buna bağlı olarak aday ağın o an için kullanıcının isteklerine cevap verip vermemesi bilinmediğinden kontrol amaçlı olarak, HOM, bu ağların değerlendirilmesi için MIHM ‘den aldığı bilgileri NEM ‘e gönderir. Daha sonra NEM hem gereken NQV değerini hesaplar hem de kendisine verilen ağları değerlendirir. Her ağ için bir NQV değeri üretir. Bu değerler kararın verilmesi için HOM ‘a gönderilir. HOM birinciden başlayarak bütün ağları dener. Tabloda bulunan ve en iyi olan aday ağı seçer. Daha sonra geçiş için MIHM ’e emir verir. MIHM geçiş işlemini tamamlar ve HOM ’u geçişin tamamlandığı konusunda bilgilendirir. HOM, başarılı bir şekilde geçişin sağlandığından emin olduktan sonra geçiş yapılan ağa ağ derece bilgisini ve ortalama kalite bilgisini formül (4.6) ‘da ifade edildiği gibi günceller. Son olarak da başa dönerek tekrar MIHM ’den bir uyarı gelmesini ya da mevcut ağın kalitesinin düşmesini bekler.

4.4.2.2. Konuma Bağlı Kayıtlı Ağ Olmaması Durumu

HOM ’un MIHM tarafından gönderilen MIH Link Going Down bildirimini alınması durumunda ya da servis kalitesinin düşmesi durumunda el değiştirme süreci başlar. Servis kalitesinin periyodik kontrolünü HOM NEM ’e yaptırmaktadır. HOM tıpkı mevcut ağların değerlendirmesinin yapılması gibi mevcut kullanılan ağın belli aralıklarda NEM tarafından kontrol edilmesini sağlar. El değiştirme sürecinde ilk aşama olan mevcut ağlar hakkında bilgi toplama aşamasına geçilir. Bu aşamada HOM, mobil kullanıcının konum bilgisi ve ağlar hakkındaki diğer gerekli bilgiler için MIHM ’e MIH Get Information isteği gönderir. Bu istek MIHM tarafından kabul edilir ve mobil kullanıcının kapsama alanına giren mevcut ağlar hakkında bilgiler toplanır. Elde edilen bilgiler NEM ’e iletilmesi için HOM ’a gönderilir. HOM önce NHT üzerinde konum bilgisine göre ortamdaki ağların daha önce ziyaret edilip edilmediğine bakar. NHT içindeki aramanın sonucunda önceden ziyaret edilmiş bir ağ bulunmamaktadır. Ya da mevcut ağlar ilk duruma göre değerlendirilmiş olup gereken NQV değerinin altındadır. Bu durumda ziyaret edilmemiş diğer ağları

bulması gerekmektedir. Dolayısıyla MIHM ’e tekrar emir vererek yeni ağları dinler. Bu kısım enerji kaybının en çok olduğu kısımdır. MIHM aracılığıyla alternatif NIC aktif hale getirilerek dinleme yapılır. MIHM yeni ağların bilgisini HOM ‘a gönderir. HOM ‘un bu ağlar arasında seçim yapabilmesi için NQV değerlerine ihtiyacı vardır. Buna bağlı olarak HOM, bu ağların değerlendirilmesi için MIHM ‘den aldığı bilgileri NEM ‘e gönderir. Daha sonra NEM Ağ Değerlendirme Modülü başlığı altında anlatılan şekilde kendisine verilen ağları değerlendirir. Her ağ için bir NQV değeri üretir. Bu değerler kararın verilmesi için HOM ‘a gönderilir. HOM en yüksek değere sahip ağı seçer. Daha sonra geçiş için MIHM ’e emir verir. MIHM geçiş işlemini tamamlar ve HOM ’u geçişin tamamlandığı konusunda bilgilendirir. HOM, başarılı bir şekilde geçişin sağlandığından emin olduktan sonra geçiş yapılan yeni ağı tabloya kaydeder. Yeni ağ için ağ derece bilgisini ve ortalama kalite bilgisini formül (4.6) ‘da ifade edildiği gibi ayarlar. Son olarak da başa dönerek tekrar MIHM ’den bir uyarı gelmesini ya da mevcut ağın kalitesinin düşmesini bekler.

5. BENZETİM ve DENEYLER

Bu çalışmada, önerilen metodun denenmesi için gerçeğe yakın bir benzetim ortamı oluşturulmuştur. Ortam analitik bir düzlem üzerine inşa edilmiştir. Ortamda, çalışmada kullanılan iki kablosuz ağ teknolojisi olan 3G ve WLAN ağları mevcuttur. Benzetimin gerçeğe yakın olması açısından bu teknolojilere ait bazı RSSI gibi parametrelerin değerleri gerçek ölçümlere bağlı olarak atanmıştır. Ayrıca mevcut kablosuz teknolojilere ait kapsama alanı, kullanıcı hızı veya bant genişliği kısıtları gibi kısıtlar da dikkate alınmıştır. Kablosuz ağların yanı sıra, gerçeklenen mobil cihaz üzerinde FTP gibi best-effort uygulamaları ya da VoIP gibi gerçek zamanlı uygulamalar çalışabilir. Bu iki uygulama tipi aynı anda mobil cihaz üzerinde çalışabilmektedir.

5.1. Kabullenmeler ve Varsayımlar

Bu kısımda benzetimde kullanıcın hareket ettiği alana, mevcut kablosuz ağlara ve mobil kullanıcıya ait kabullenmelerden ve varsayımlardan bahsedilmiştir.

- Belirli bir yer değiştirme örüntüsünün takip edilmesinden dolayı, ortam uzun bir yola benzetilmesi bakımından 1000 mt x 100 mt şeklinde belirlenmiştir.
- Mobil kullanıcı ile erişim noktası arasında bir engelin bulunabileceği varsayılmıştır. Buna bağlı olarak sinyal gücü düşmektedir.
- Mobil kullanıcı mevcut kablosuz ağlara sorunsuz şekilde bağlanabildiği varsayılmıştır.
- Mobil istemcinin kuyruğunun daima dolu olduğu, sürekli olarak veri gönderdiği kabul edilmektedir. Gönderilecek olan veri best-effort ya da gerçek zamanlı uygulama türüne ait olabilir.
- Mobil kullanıcının (0, 50) noktasından (1000, 50) noktasına doğru doğrusal şekilde hareket ettiği kabul edilmektedir.
- Mobil kullanıcı üzerinde best-effort uygulamaları, gerçek zamanlı uygulamalar ya da iki uygulama türü aynı anda çalışabilmektedir.
- Mobil kullanıcının bütün kablosuz LAN erişim noktalarını ücretsiz olarak kullanabildiği varsayılmıştır.

- Kablosuz LAN erişim noktaları analitik düzlem üzerinde rastsal olarak dağıtılmıştır.
- Kablosuz LAN erişim noktalarının kapsama alanı 50 metre olarak belirlenmiştir.
- Kablosuz LAN erişim noktalarına ait iş çıkarma oranı 1 ile 16 Mbps arasında değişmektedir.
- Kablosuz LAN erişim noktalarına ait gecikme 10 ile 250 ms arasında değişmektedir.
- Kablosuz LAN erişim noktalarına ait RSSI değeri -22 ile -75 dBm arasında değiştiği varsayılmıştır. Bu değerler Android mobil işletim sistemi tabanlı telefon aracılığıyla ölçülmüş minimum ve maksimum değerlerdir.
- Kablosuz LAN erişim noktalarına ait beklenen güç harcama değeri daha önce açıklanan şekilde iş çıkarma oranına bağlı olarak değişmektedir.
- Mobil kullanıcı 30 km/s üzerinde hareket ediyorsa kablosuz LAN ağlarına bağlanmamaktadır.
- 3G erişim noktasının yeri rastsal olarak belirlenmiştir.
- Gerçekte daha büyük bir alanı kapsadığı halde bu benzetimde 3G baz istasyonunun kapsama alanı yarıçapı 1000 metre olarak belirlenmiştir.
- 3G erişim noktalarına ait iş çıkarma oranı yapılan gerçek ölçümler sonucunda elde edilen 150 Kbps (GPRS) ile 3 Mbps (HSDPA) değerleri arasında değişmektedir. Ölçümler Android mobil işletim sistemi tabanlı telefon ile yapılmıştır.
- 3G erişim noktalarına ait gecikme 80 ile 150 ms arasında değiştiği varsayılmıştır.
- 3G erişim noktalarına ait RSSI değeri -51 ile -111 dBm arasında değiştiği varsayılmıştır. Bu değerler Android mobil işletim sistemi tabanlı telefon aracılığıyla ölçülmüş minimum ve maksimum değerlerdir.
- 3G erişim noktalarına ait beklenen güç harcama değeri daha önce açıklanan şekilde iş çıkarma oranına bağlı olarak değişmektedir.
- Kullanıcının 3G hizmetini ücretsiz olarak kullanabildiği ya da hali hazırda bu hizmeti belli bir miktara kadar kullanma hakkı olduğu varsayılmıştır.

5.2. Benzetim Senaryosu

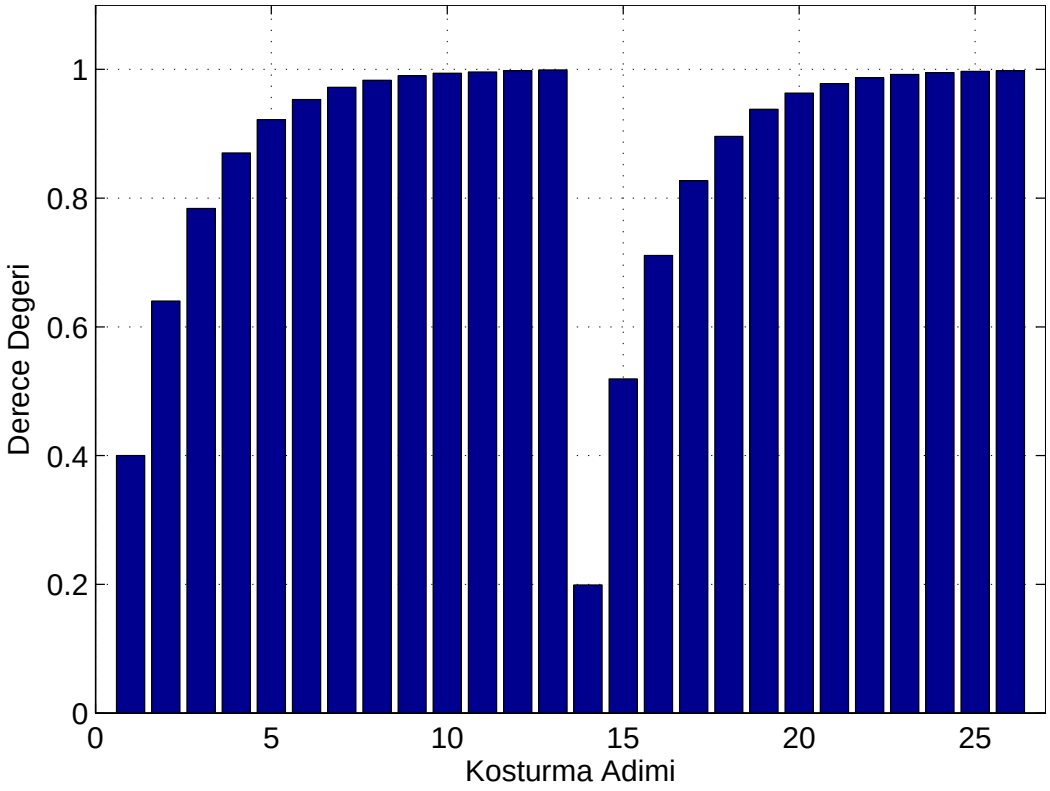
Modelin denenmesi için oluşturulan benzetim üzerinde gerçeğe uygun bir senaryo koşturulmuştur. Senaryolar aşağıdaki gibidir.

- Senaryo 1: Bir erişim noktasının anlık derecelendirmelere göre tablodaki tercih sırasının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.
- Senaryo 2: Mobil cihaz üzerinde sadece best-effort uygulamalarının çalıştığı durum gözlemlenecektir. Kullanıcı (0, 50) noktasından (1000,50) noktasına doğru önerilen modeli kullanarak hareket etmektedir. Hareket hızı yürüme hızını temsilen 5 km/sa olarak ayarlanmıştır. Bu hareket 20 kere tekrarlanmıştır.
- Senaryo 3: Mobil cihaz üzerinde sadece real-time uygulamalarının çalıştığı durum gözlemlenecektir. Kullanıcı (0, 50) noktasından (1000, 50) noktasına doğru önerilen modeli kullanarak hareket etmektedir. Hareket hızı yürüme hızını temsilen 5 km/sa olarak ayarlanmıştır. Bu hareket 20 kere tekrarlanmıştır.
- Senaryo 4: Mobil cihaz üzerinde sadece best-effort uygulamalarının çalıştığı durum gözlemlenecektir. Kullanıcı (0, 50) noktasından (1000,50) noktasına doğru önerilen modeli kullanarak hareket etmektedir. Hareket hızı şehir içi araç hızını temsilen 30 km/sa olarak ayarlanmıştır. Bu hareket 20 kere tekrarlanmıştır.
- Senaryo 5: Mobil cihaz üzerinde sadece real-time uygulamalarının çalıştığı durum gözlemlenecektir. Kullanıcı (0, 50) noktasından (1000, 50) noktasına doğru önerilen modeli kullanarak hareket etmektedir. Hareket hızı şehir içi araç hızını temsilen 30 km/sa olarak ayarlanmıştır. Bu hareket 20 kere tekrarlanmıştır.

5.3. Benzetim Sonuçları

Senaryolar koşturulmadan önce 1000 mt x 100 mt ‘lik ortamdaki kablosuz erişim noktalarının sayısı 200 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sayıya 3G baz istasyonu dahildir. 3G baz istasyonu dahil bütün kablosuz erişim noktaları rastsal olarak ortama dağıtılmıştır. Ortamdaki kablosuz LAN’lar senaryo ortamını tamamıyla kapsamaktadır.

Günümüzde 1000 mt x 10 mt ‘lik alan içinde 200 farklı erişim noktasının hizmet vermesi şehiriçinde mümkün olabilmektedir. Bu benzetimde kullanıcının kablosuz LAN’ları tarayabilme mesafesi 50 metre olarak ayarlanmıştır. Kullanıcı belirlenen (0, 50) noktasından (1000, 50) noktasına doğru yürüme hızıyla hareket ederken 200 kablosuz erişim noktasının tamamından RSSI sinyali almış olup ortalama olarak 115 tanesini kullanmıştır. Bu da benzetim ortamdaki kablosuz ağların ortalama olarak %57.5 ’inin kullanıldığını göstermektedir.

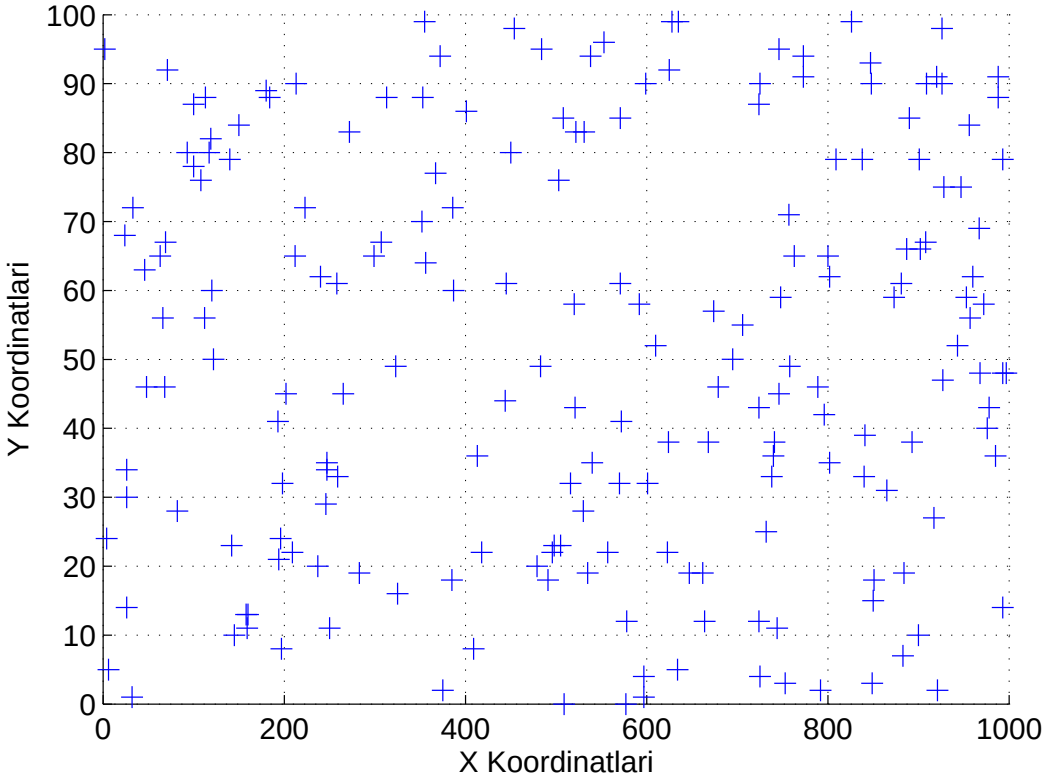


Şekil 5.1: Belirli bir kablosuz ağın ziyaret sayısına göre derece değerleri

Şekil 5.1 ‘de senaryo 1 için elde edilen grafik gösterilmektedir. Buna göre şekil, belirli bir kablosuz erişim noktasının kaç ziyaret sonucunda en yüksek dereceye ulaştığını göstermektedir. Geçmiş derece değeri 0.6 ve anlık derece değeri 0.4 olduğu durumda kullanıcının 13 kere ziyaret ettiği bir ağ en yüksek dereceye ulaşmaktadır. İlk defa ziyaret edilen erişim noktası 0.4 derecesine sahip olur. 13 Ziyaret sonucunda en yüksek derece olan 1.0 değerini alır. Eğer en yüksek dereceye sahip kablosuz ağ -1 anlık derecesi ile değerlendirilirse yeni derecesi 0.2 olmaktadır. Böyle bir kablosuz ağın en yüksek dereceye tekrar ulaşması için 12 kere daha ziyaret edilmesi gerekmektedir. Eğer -1 anlık derecesi ile derecesi düşürülen kablosuz ağın

daha az iterasyonla tekrar en yüksek dereceye sahip olması istenirse anlık derece değerinin ağırlığını azaltabilir. Buna alternatif olarak da anlık derece değerini -1 olarak vermek yerine 0.5 gibi daha küçük bir değer verebilir. Bir başka yol olarak da o an var olan değerin üçte birine ayarlanabilir. Böylelikle geri iyileşme daha hızlı şekilde olur.

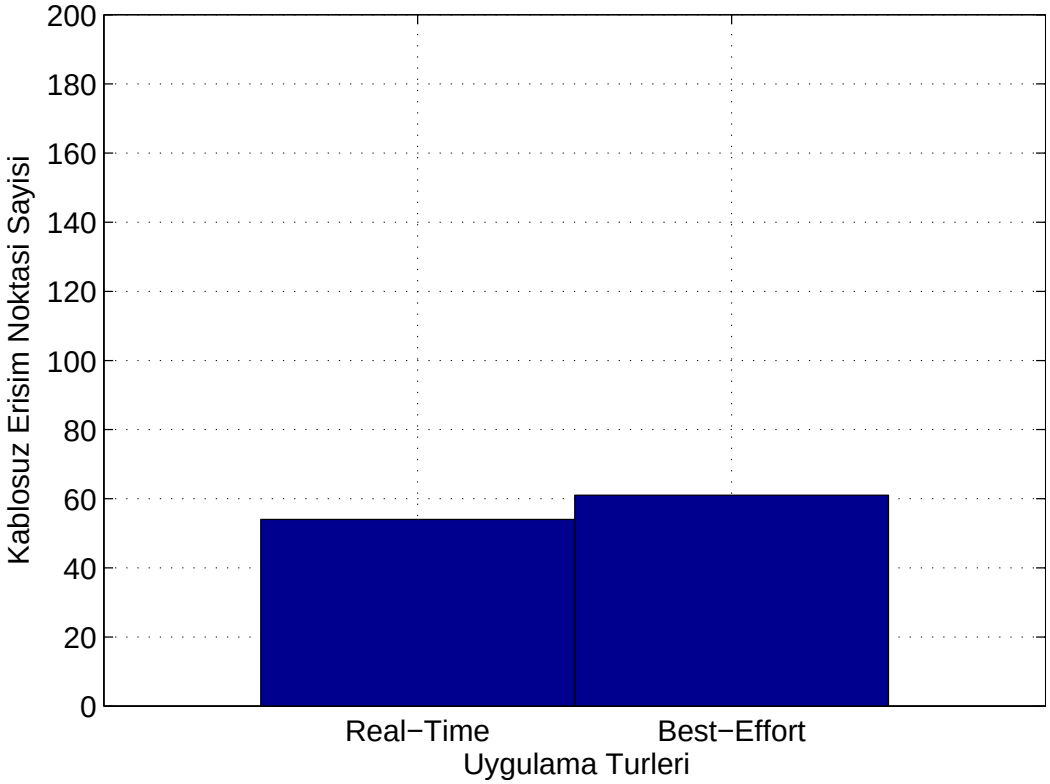
Kullanıcının yürüme hızında hareket ettiği 1. ve 2. senaryolar için kablosuz erişim noktalarının ortamdaki dağılımları Şekil 5.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Kablosuz ağların ortamdaki dağılımlarının gösterimi.

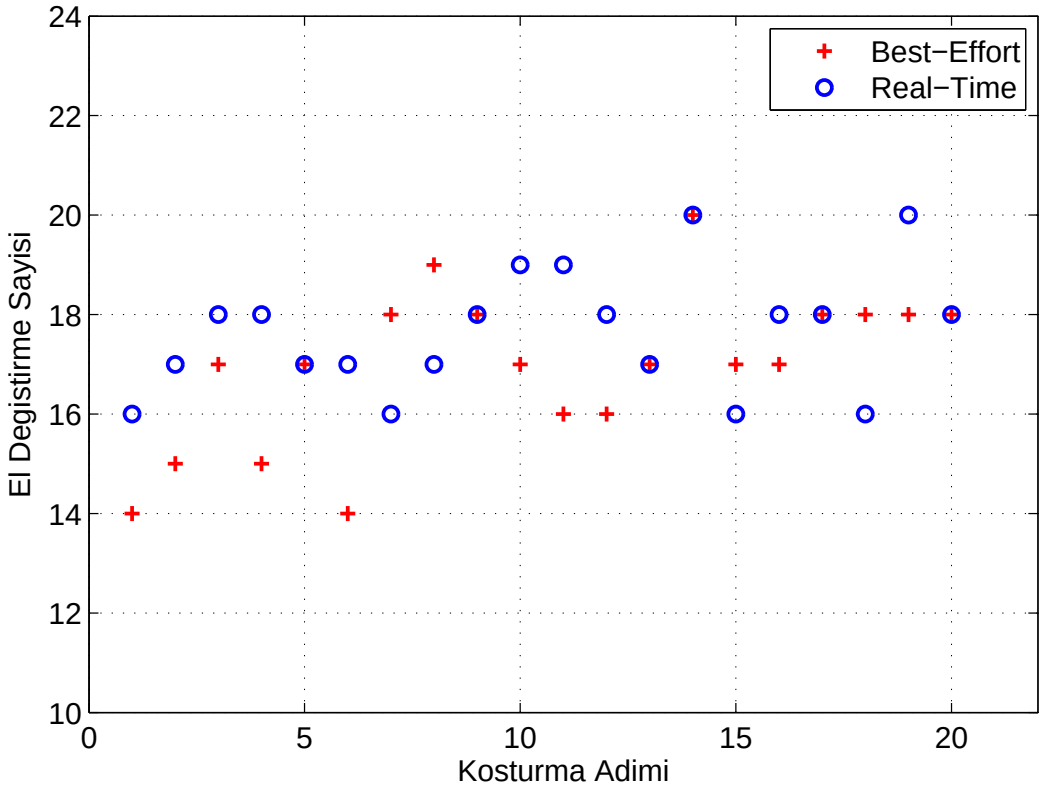
Şekil 5.3 'de görüldüğü üzere kullanıcı yürüme hızı olarak kabul edilen 5 km/sa hızla hareket ederken best-effort uygulamalar çalıştırırken 54 tane, real-time uygulamalar çalıştırıken 61 tane kablosuz erişim noktası ile haberleşmiştir. Elde edilen bu değerler kullanıcının 1000 metrelik yol boyunca kullanıdığı kablosuz ağ noktalarını göstermektedir. Bu kablosuz ağlar arasında 3G baz istasyonu bulunmamaktadır. Bunun temel sebebi yürüme hızındaki kullanıncının kablosuz LAN'lardan daha iyi hizmet almasıdır. Kullanıcı genellikle hizmet aldığı kablosuz ağ teknolojisinden uzaklaşınca el değiştirme yapmaktadır. Kablosuz ağ sınırı 50 metre

olarak ayarlandığı için genel olarak hizmet aldığı erişim noktasına 40 ile 50 metre arasındaki mesafelerde el değiştirme yaptığı görülmektedir.



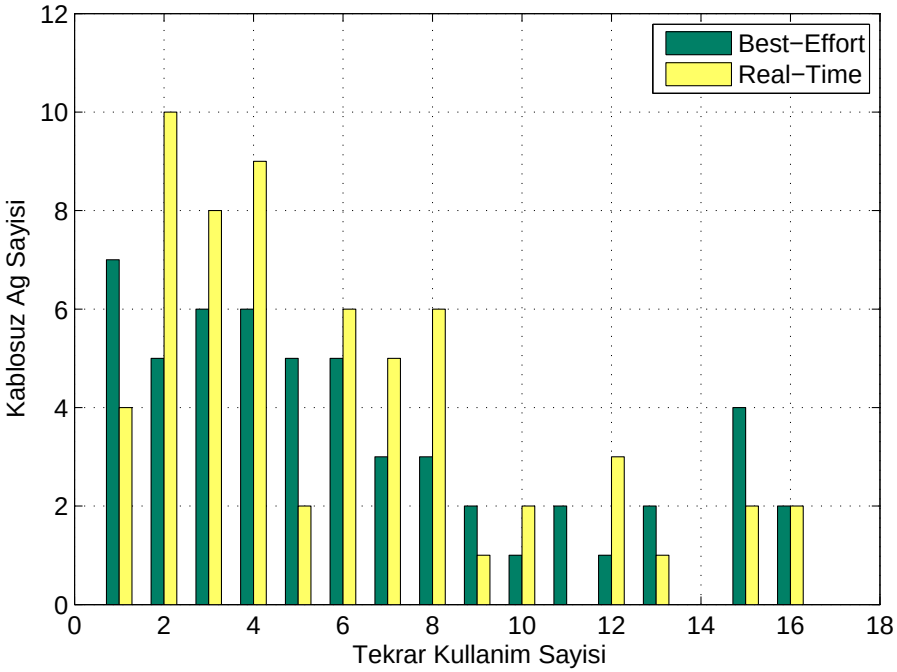
Şekil 5.3: Yürüme hızıyla hareket edilirken kullanılan kablosuz ağ sayısı.

Şekil 5.4 'te benzetimin her koşturmada kaç kere el değiştirme yaptığı gösterilmektedir. Buna göre benzetimde best-effort uygulamalar için 17, real-time uygulamalar için 18 kere el değiştirme işlemi yapıldığı görülmektedir. Best-effort uygulamalar için el değiştime sayısı başlarda çok değişken iken 14. adımdan sonra daha stabil bir hal almaktadır. Bunun sebebi kullanılan kablosuz ağların daha stabil bir ağ karakteristiği ile devam etmesidir. Real-time uygulamalar ele alındığında, kablosuz ağlar stabil bir karakteristiğe sahip olmadığı için sürekli olarak artan ve ya azalan el değiştirme sayıları gözlemlenmektedir.



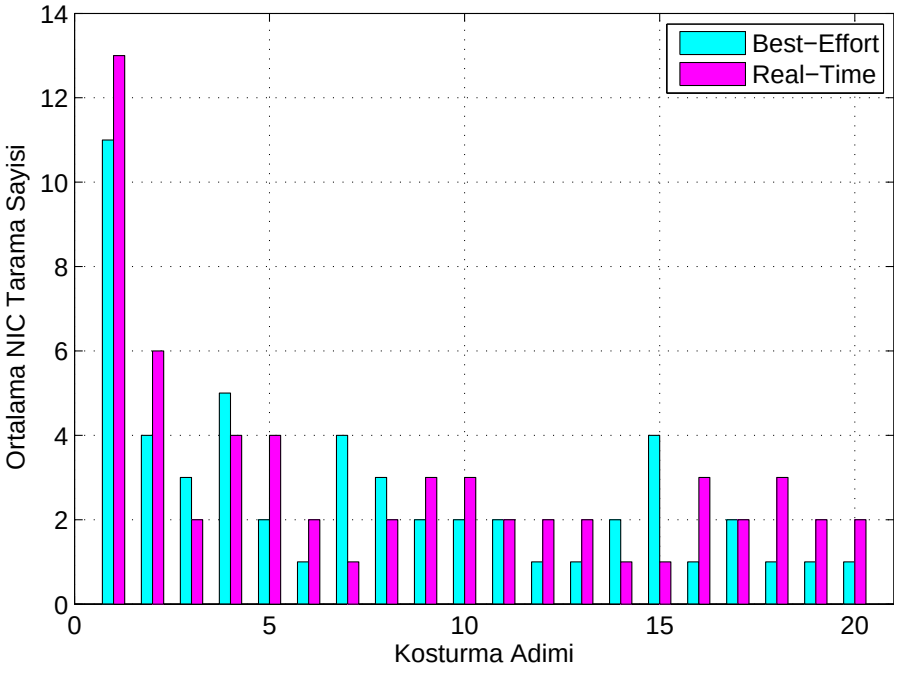
Şekil 5.4: Benzetim tekrar adımına göre el değiştirme sayısı.

Önerilen model önceden kullanılan kablosuz ağların öğrenilerek tekrar kullanılabileceği yaklaşımı üzerine kurulmuştur. Şekil 5.5 'te best-effort ve real-time uygulamalar için ziyaret edilen kablosuz ağların kullanım sayıları gösterilmiştir. Önerilen yaklaşıma bağlı olarak benzetim de görülmüştür ki birden fazla defa kullanılan kablosuz ağların sayısı best-effort uygulamalar için 47, real-time uygulamalar içinse 57 'dir. Benzetimin 20 tekrarı boyunca best-effort uygulamalar kullanılırken 7 erişim noktası sadece 1 kere kullanılmıştır. Real-time uygulamalar için bu sayı 4 'tür. Ziyaret edilen kablosuz ağların tekrar kullanılmamalarının sebeplerinden birisi ağların değerlerinin değişmesi sebebiyledir. Benzetimin gerçeğe yakın olmasını sağlamak amacıyla ağların değerleri her koşturma öncesinde yinelenir. Bu yineleme sebebiyle ağların kalitesi düşebilir ya da yükselebilir. Benzetim sonucunda görüldüğü gibi, ağların yeni değerleri kullanıcının seçimini etkilemektedir. Sonuç olarak görülmektedir ki mobil kullanıcı best-effort uygulamalar kullanırken %87.03 oranında daha önceden ziyaret ettiği ağları kullanmaktadır. Real-time uygulamalar kullanılırken bu oran %93.44 'e yükselmektedir.



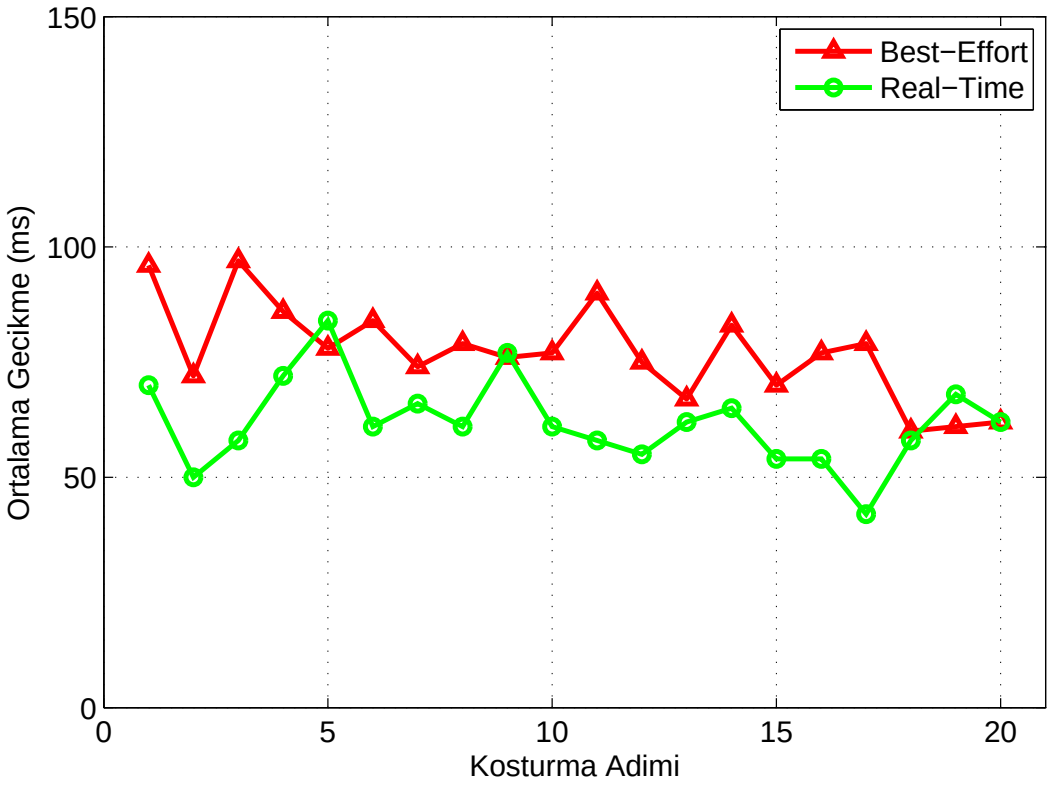
Şekil 5.5: Kablosuz ağların tekrar kullanılma değerleri.

Bu istatistiklere göre 13 veya daha fazla kere kullanılan ve dolayısıyla en yüksek ağ derecesine sahip olan kablosuz ağların tüm kullanılan kablosuz ağlara oranı best-effort uygulamalar için %6.9 iken real-time uygulamalar için %4.34 olmaktadır. Bunun da temel sebebi değişen ağ karakteristikleridir.



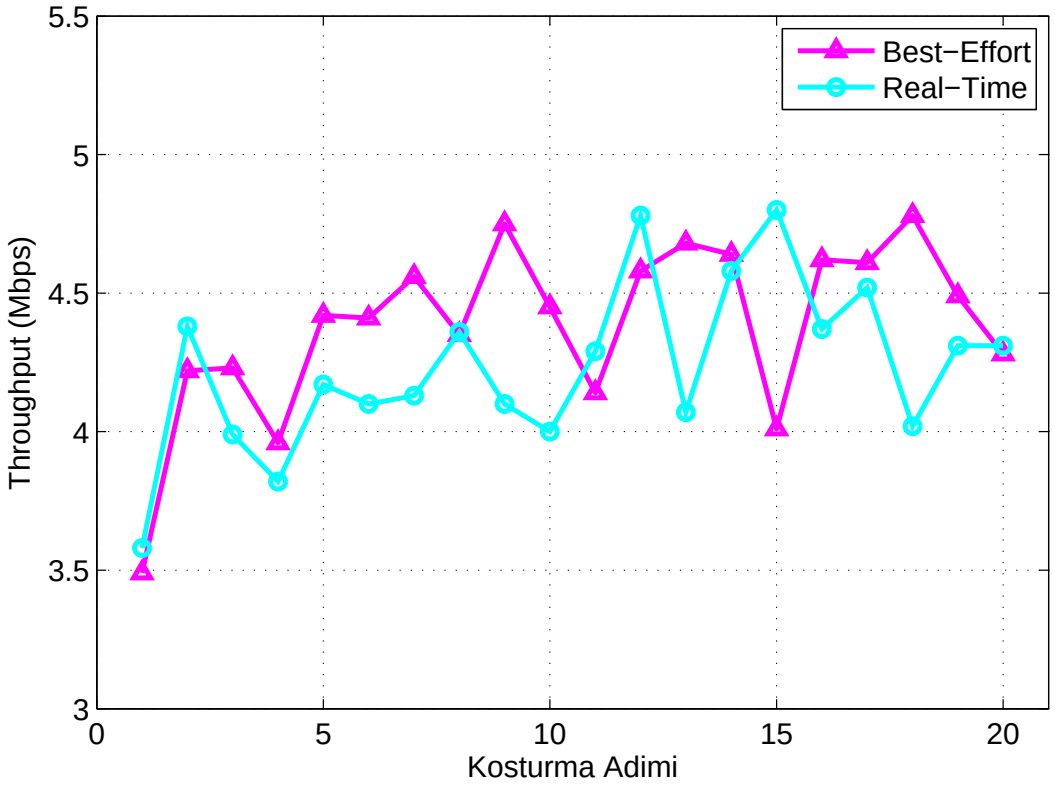
Şekil 5.6: Kullanıcının adımlara göre ağ tarama sayısı.

Önerilen çalışmada NIC tarama sayısının azaltılması yoluyla enerji tasarrufu yapılmaya çalışılmıştır. Buna göre, Şekil 5.6 'da kullanıcı yol üzerindeki hiçbir ağ üzerinde tarama yapmadığı durumda ortalama olarak best-effort için 11, real-time için 13 ağ hakkında bilgi toplamıştır. Bu rakam bir sonraki adımlarda hızla düşerek 1 ile 6 sayıları arasında seyretmektedir. Tarama değerlerinin adımlara göre 1 olduğu durumlarda kullanıcı direk olarak önceden ziyaret ettiği ve tabloda derecesi en yüksek olan ağa direk olarak bağlanmaktadır. Buradan sonuçla mobil kullanıcının, her bir ağ için ağ tarama enerjisinin eşit olduğu varsayılarak, best-effort uygulamalar için %72 oranında, real-time uygulamalar için %76 oranında ağ taramasından tasarruf ettiği görülmektedir.



Şekil 5.7: Kablosuz ağlardaki ms bazında ortalama gecikme değerleri.

Kullanıcının benzetim ortamında rastsal olarak üretilen kablosuz ağlara göre 20 koşturma sonucunda ortalama gecikme değerleri Şekil 5.7 'de gösterilmiştir. Real-time uygulamaların gecikmeleri best-effort uygulamaların gecikmelerinden daha düşüktür.

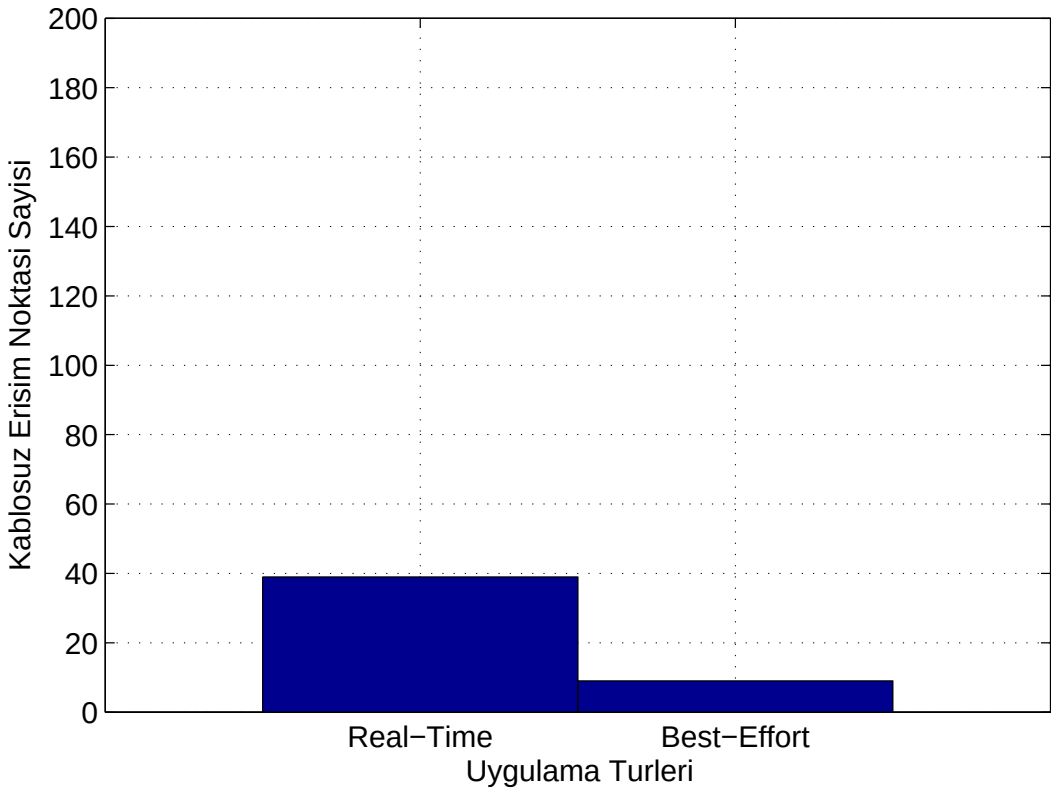


Şekil 5.8: Kablosuz ağlardaki mbps bazında ortalama throughput değerleri.

Kullanıcının benzetim ortamında rastsal olarak üretilen kablosuz ağlara göre 20 koşturma sonucunda ortalama throughput değerleri Şekil 5.8 'de gösterilmiştir. Real-time uygulamaların throughput değerleri çoğu zaman best-effort uygulamaların throughput değerlerinden biraz daha düşüktür. Throughput değerlerinin genel olarak yüksek olmasının sebebi kullanıcının kablosuz LAN ağlarını kullanmasıdır.

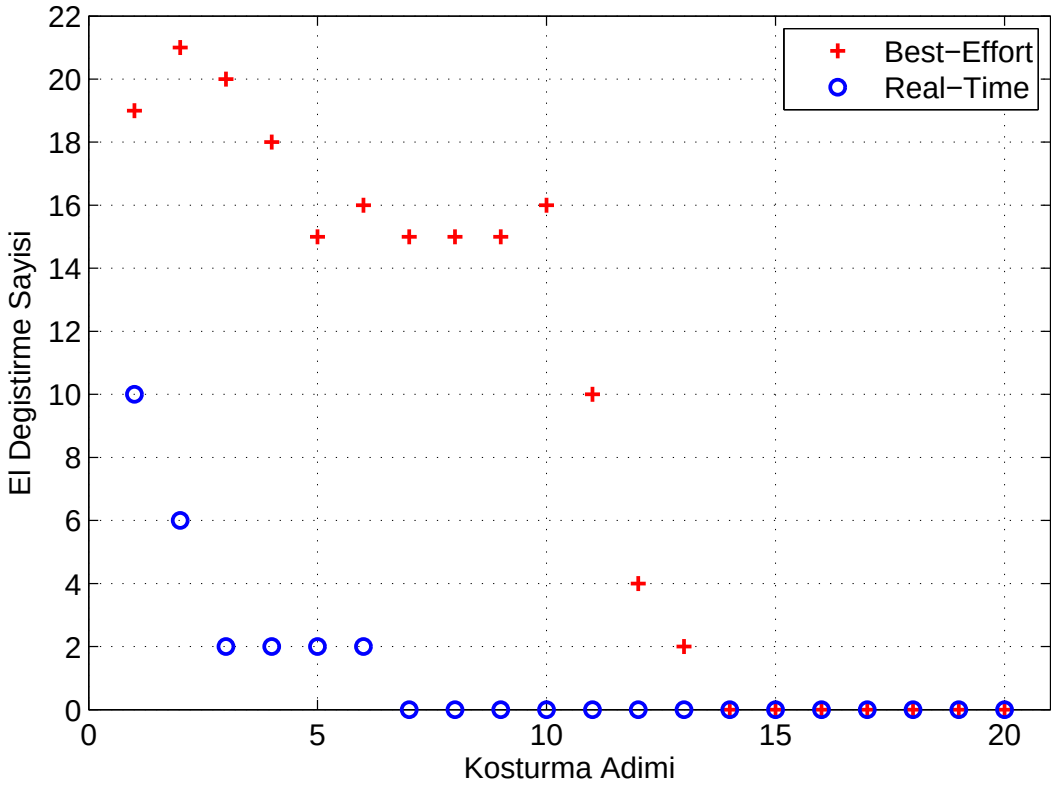
Senaryo 4 ve 5 'i ele aldığımızda, mobil kullanıcı şehir içi araç hareket hızı olarak varsayılan 30 km/sa hızla hareket ederken best-effort uygulamalar için 39 farklı, real-time uygulamalar çalıştırıken 9 farklı kablosuz erişim noktasını kullandığı Şekil 5.9 'da gösterilmiştir. Bunun temel sebebi kullanıcının hızının yüksekliğidir. Karar algoritması yüksek hızlarda kablosuz LAN ağları için 3G ağlarına göre çoğunlukla daha düşük değer bulur. Belirli bir iterasyondan sonra 3G baz istasyonu geniş kapsama alanı sayesinde her lokasyon için baskın erişim noktası olur. Kullanıcı her yeni lokasyona girmeden evvel ağ geçmişi tablosunda o lokasyon için en uygun ağın 3G erişim noktası olduğunu öğrenir. Dolayısıyla belli bir iterasyondan sonra kullanıcı sadece ağ taraması yapmaksızın direk olarak 3G baz istasyonunu kullanır. Elde edilen bu değerler kullanıcının 1000 metrelik yol boyunca kullanıdığı kablosuz ağ noktalarını göstermektedir. Kullanıcı genellikle hizmet aldığı kablosuz ağ

teknolojisinden uzaklaşınca el değiştirme yapmaktadır. Kablosuz LAN ağlarının kapsama yarıçapı 50 metre olarak ayarlandığı halde karar algoritması 3G baz istasyonunu dominant olarak kullandığı için el değiştirme sayısı da ciddi oranda düşmektedir.



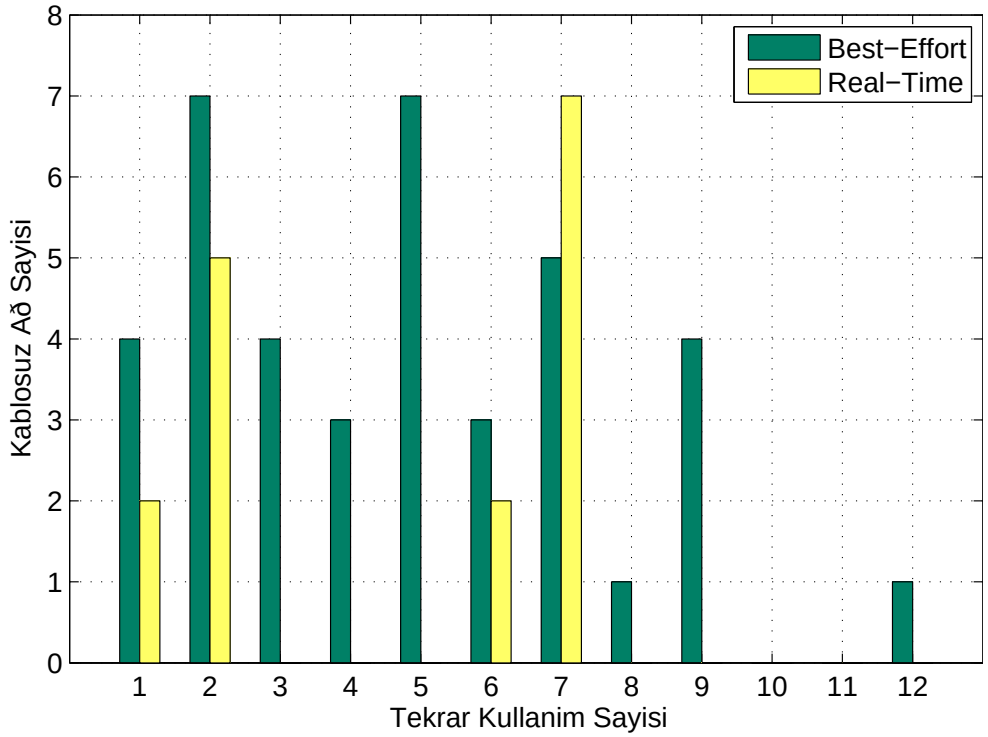
Şekil 5.9: Yol boyunca kullanılan kablosuz ağ sayısı.

Şekil 5.10 'da benzetimin her yol tekrarında kaç kere el değiştirme yaptığı gösterilmektedir. Best-effort uygulamaları incelediğimizde 9. koşturma ile birlikte el değiştirme sayısının hızla düştüğünü ve el değiştirmenin 12. koşturmadan sonra sıfıra indiğini görürüz. Bunun sebebi karar algoritmasının 12. adımdan sonra her lokasyon için baskın ağın 3G baz istasyonu olduğuna karar vermesidir. 3G 'nin yeterli ağ kalitesi ve geniş kapsama alanı sağlaması sebebiyle el değiştirme yapmaya ihtiyaç duyulmaz. Real-time uygulamalarda bu real-time uygulamaların çok bantgenişliğine ihtiyaç duymaması sebebiyle daha hızlı gerçekleşir. İlk adımdan itibaren hızla düşen el değiştirme sayısı 6. adım ile birlikte sıfıra inmektedir. Ayrıca benzetimde 3G'nin göreceli olarak stabil bir ağ karakteristiğine sahip olması sebebiyle sürekli olarak NHT tablosundaki yerini korumuştur.



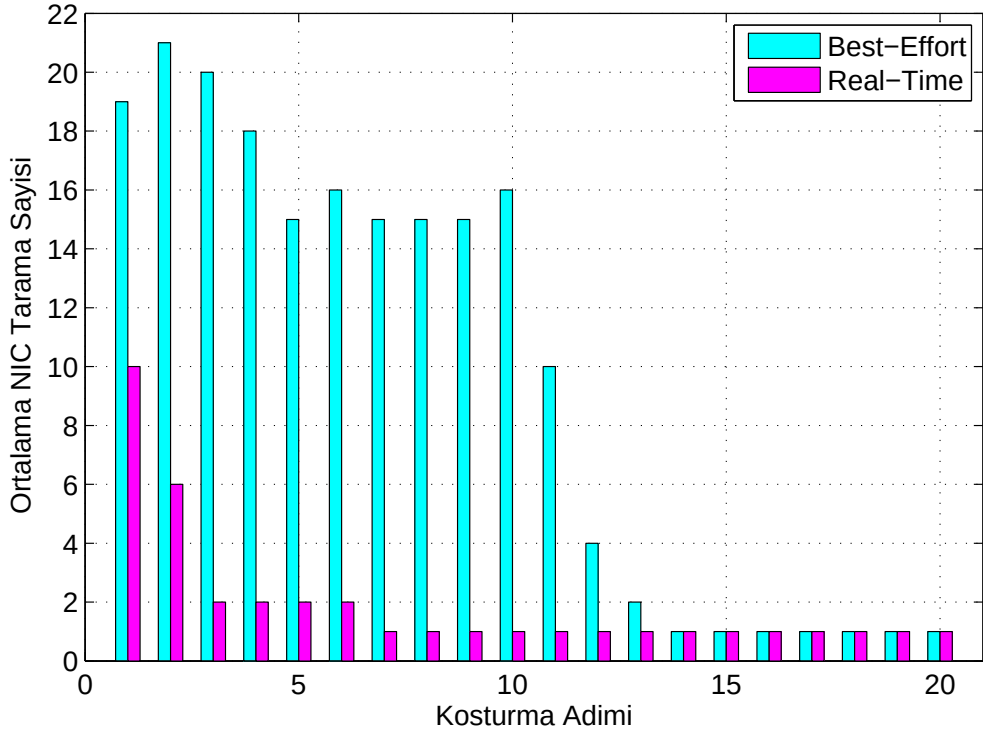
Şekil 5.10: Araç ile hareket için benzetim tekrar adımına göre el değiştirme sayısı.

Önerilen model ziyaret kablosuz ağları öğrenerek seçim yapmaktadır. Şekil 5.11 ‘de best-effort ve real-time uygulamalar için ziyaret edilen kablosuz ağların kullanım sayıları gösterilmiştir. Önerilen yaklaşıma bağlı olarak benzetim de görülmüştür ki birden fazla defa kullanılan kablosuz ağların sayısı best-effort uygulamalar için 35, real-time uygulamalar içinse sadece 7 ‘dir. Benzetimin 20 tekrarı boyunca best-effort uygulamalar kullanılırken 4 erişim noktası sadece bir kere kullanılmıştır. Real-time uygulamalar çalışırkense bu değer 2 ‘dir. Best-effort uygulamalarda 12 kere kullanılan kablosuz ağ 3G baz isyasyonudur. Bu istasyon başlarda algoritma tarafından seçilmemesine rağmen daha sonra baskın ağ olmuş ve yol boyunca kullanılan tek erişim noktası haline gelmiştir. Real-time uygulamalar için inceleme yapıldığında iki kablosuz ağın 6 kere tekrar kullanıldığı görülmektedir. Burada da iki ağdan birisi bir kablosuz ağ ve diğeri 3G baz istasyonudur. Tekrar kullanım yüzdelerine bakıldığında best-effort senaryoda %89.7, real-time senaryoda %77.77 ‘dir.



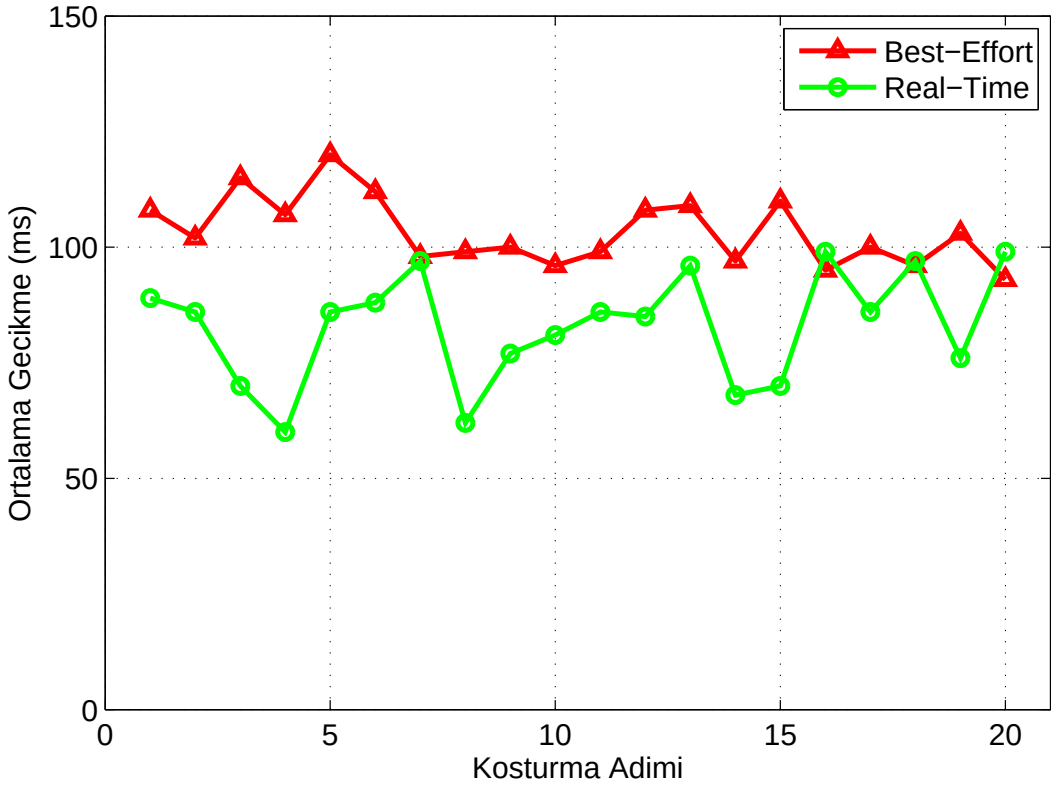
Şekil 5.11: Araç gidilirken kullanılan kablosuz ağların tekrar kullanılma değerleri.

Elde edilen bu sonuçlara göre best-effort için baskın ağların tüm ağlara oranı %2.85 iken real-time uygulamalar için %22.22 ‘dir.



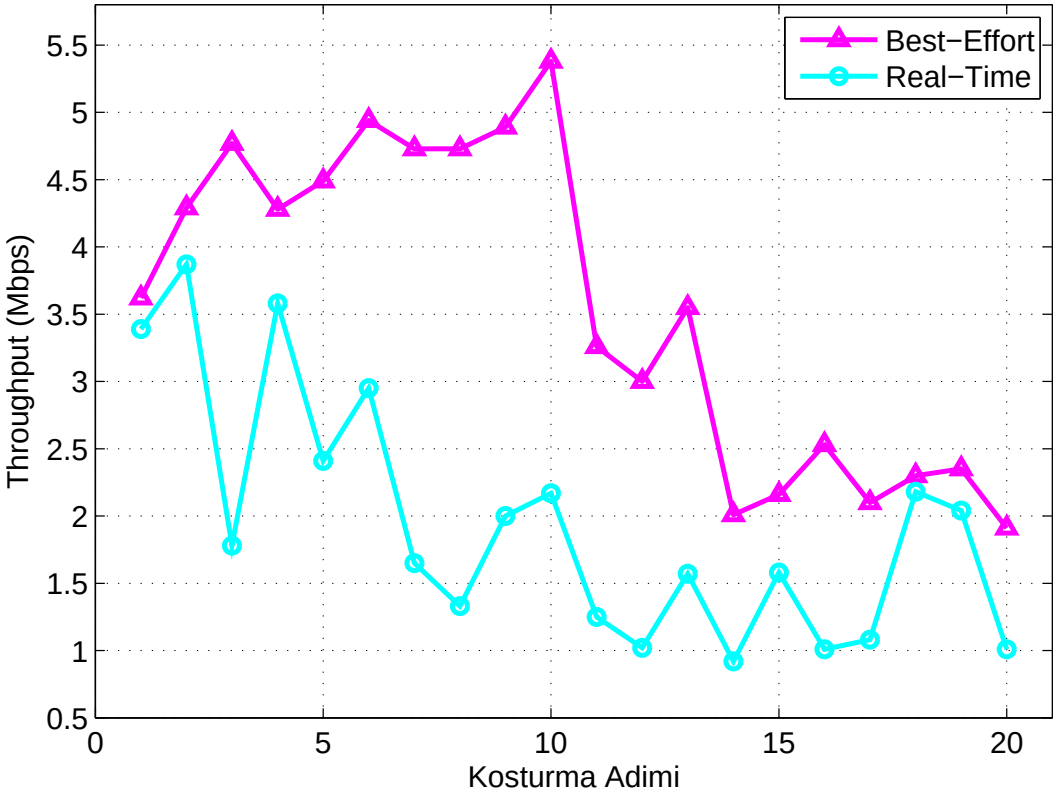
Şekil 5.12: Araç giderken koşturma adımlarına göre yapılan ağ taraması sayısı.

Önerilen çalışmada NIC tarama sayısının azaltılması yoluyla enerji tasarrufu yapılmaya çalışılmıştır. Benzetim sonucunda koşturma tekrarına göre tarama sayıları Şekil 5.12 ‘de gösterilmiştir. kullanıcı yol üzerindeki hiçbir ağı daha önce ziyaret etmediği durumda ortalama olarak best-effort için 19, real-time için 10 ağ hakkında bilgi toplamıştır. Bu rakam best-effort uygulamalar için 11. tekrar kadar 21 ile 10 arasında değişmektedir. Bu da bu süreç boyunca kararlı bir ağ ziyaret dizisinin bulunamadığını gösterir. Daha önce de ifade edildiği gibi 12. adım ile birlikte 3G erişim noktası baskın gelmiş ve sadece bu için ağ bilgisi alınmıştır. Dolayısıyla da tarama sayısı bire düşmüştür. Bu grafiğe göre her ne kadar taramadan tasarruf edilse de 3G erişim noktaları kablosuz LAN’lara göre çok enerji harcamaktadır. Dolayısıyla throughput’un yüksek olduğu durumlarda yeterince enerji tasarrufu sağlanmayacaktır. Ancak bu kararın verilmesinde kullanıcının hızı büyük rol oynamaktadır. Real-time uygulamalar için inceleme yaparsak, tarama ilk adımla birlikte hızla düşerek yine best-effort uygulamalarla aynı duruma gelir. Real-time uygulamaların throughput gereksinimleri best-effort uygulamalar kadar yüksek olmadığı için real-time uygulamalar için daha iyi bir enerji tasarrufu sağlanmış olur.



Şekil 5.13: Araç ile giderken kablosuz ağlarda ölçülen ortalama gecikme değerleri.

Kullanıcının benzetim ortamında rastsal olarak üretilen kablosuz ağlara göre 20 koşturma sonucunda ortalama gecikme değerleri Şekil 5.13 ‘te gösterilmiştir. Real-time uygulamaların gecikmeleri best-effort uygulamaların gecikmelerine göre daha değişken olmakla birlikte daha düşüktür. Bu da ağ değerlendirmesinde algoritmanın jitter’i değerlendirme kriterleri arasına almaması sebebiyledir.



Şekil 5.14: Araç ile giderken ziyaret edilen kablosuz ağların throughput değerleri.

Kullanıcının benzetim ortamında rastsal olarak üretilen kablosuz ağlara göre 20 koşturma sonucunda ortalama throughput değerleri Şekil 5.14 ‘te gösterilmiştir. Real-time uygulamaların throughput değerleri çoğu zaman best-effort uygulamaların throughput değerlerinden biraz daha düşüktür. Throughput değerlerinin giderek düşmesinin sebebi 3G baz istasyonunun son adımlara doğru baskın ağ olması ve kablosuz LAN ağları daha yüksek throughput sağlayamamasıdır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Gelişen teknolojiyle birlikte kablosuz ağ teknolojilerinin sayıları artmış ve mobil cihazlar birden çok kablosuz ağ teknolojisini kullanabilme imkanına doğmuştur. Buna bağlı olarak da kullanıcılar herhangi bir zamanda ve herhangi bir mekanda bu kablosuz ağları kullanmak istemektedirler. Kablosuz ağların kapsama alanlarının üst üste gelmesi sayesinde kullanıcının bulunduğu alandaki mevcut kablosuz ağlar arasında geçiş yaparak hem iletişimin sürekliliği hem de kullanıcının daha iyi servis alması sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında birden fazla ağ arayüz kartı desteği olan mobil cihazlar üzerinde enerji verimliliği sağlayarak mobil cihazın pil ömrünü arttırmayı amaçlayan bir metot önerilmiştir. Enerji verimliliğinin sağlanması için kullanıcının önceden ziyaret ettiği kablosuz ağlar lokasyon bilgileriyle birlikte kaydedilmektedir. Kullanıcı aynı lokasyonu ziyaret ettiği durumda öncelikle ağ geçmişi tablosuna bakarak ortamdaki derecesi en yüksek ağlardan birine bağlanmaya çalışmaktadır. Eğer tablodaki hiçbir ağa bağlanamazsa bu durumda genel ağ taraması yapmaktadır.

Önerilen metotta el değiştirme için Akış Kontrol İletişim Protokolü kullanılmıştır. IEEE 802.21 Ortamdan Bağımsız El Değiştirme standardı dikey el değiştirme için geliştirilmiş bir standarttır. Standart dikey el değiştirme işleminin nasıl gerçekleştirileceğini ve ağ seçim kararının nasıl yapılacağı üzerine durmaz. Sadece bütün kablosuz ağların ortak bir yapı üzerinden haberleşmesini ve bilgi alışverişinde bulunmasını sağlamaktadır. Önerilen metot IEEE 802.21 standardı ile birlikte SCTP protokolünü kullanılarak az paket kaybı ve kesintisiz iletişimi sağlayabilmektedir.

Benzetim sonuçları, kullanıcının ziyaret ettiği ağların bilgisinin tutulması yoluyla periyodik ağ taramasını en son aşamaya kadar ertelemesi sayesinde mobil cihazın klasik yönteme göre daha az enerji harcadığını göstermektedir. Buna ek olarak, belli bir ağ üzerindeki beklenen enerji harcama değerinin ağ seçimi sürecine dahil edilmesi yoluyla daha da ileri seviyede enerji tasarrufunun sağlandığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında birden fazla ağ arayüz kartı desteği olan mobil cihazlar üzerinde enerji verimliliği sağlayarak mobil cihazın pil ömrünü arttırmayı amaçlayan bir metot önerilmiştir. Önerilen metotta uygulamalar iki farklı sınıfa ayrılmış olup

iletişim tek bir arayüz üzerinden sağlanmaktadır. Buna ek olarak, uygulama tabanlı arayüz seçimi ile aynı anda birden çok ağ arayüzü kullanılabilir. Bu sayede hem veri yükünün paylaşılması hem de enerji verimliliğinin arttırılması üzerine çalışmalar yapılabilir.

Çalışmada best-effort ve real-time uygulamalar aynı AHP sürecinden geçmektedir. Bunun yerine bu iki uygulama sınıfı farklı AHP süreçlerine sokularak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Bastos J., Rodriguez J., Verikoukis C., (2012), "Mobile terminal interfaces management for energy efficiency", IEEE 17th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 115-119, Barcelona, Spain, 17-19 September.

Calhan A., Ceken C., (2011), "Speed sensitive-energy aware adaptive fuzzy logic based vertical handoff decision algorithm", Systems, The 18th International Conference on Signals and Image Processing (IWSSIP), 1-4, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 16-18 June.

Celenlioglu M. Rasih, Gözüpek D., Mantar H. Ali, (2013), "A Survey on the Energy Efficiency of Vertical Handover Mechanisms", The 5th International Conference on Wireless and Mobile Networks (WiMoN), Istanbul, Turkey, 1-2 June.

Celenlioglu M. Rasih, Mantar H. Ali, (2013), "Location History based Energy Efficient Vertical Handover Scheme", The 1st International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES), Sakarya, Turkey, 7-9 June.

Chai R., Zhou W., Chen Q., Tang L., (2009), "A survey on vertical handoff decision for heterogeneous wireless networks", IEEE Youth Conference on Information, Computing and Telecommunication (YC-ICT), 279-282, Beijing, China, 20-21 September.

Chen L.-J., Sun T., Yang G., Gerla M., (2006), "Usha: a simple and practical seamless vertical handoff solution", The 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 1284–1285, Las Vegas, Nevada, USA, 8-10 January.

Choi Y., Choi S., (2007), "Service Charge and Energy-Aware Vertical Handoff in Integrated IEEE 802.16e/802.11 Networks", The 26th Annual IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), 589-597, Anchorage, Alaska, USA, 6-12 May.

Desset C., Ahmed N., Dejonghe A., (2009), "Energy Savings for Wireless Terminals through Smart Vertical Handover," IEEE International Conference on Communications (ICC), 1-5, Dresden, Germany, 14-18 June.

Dreibholz T., Rathgeb E., Ruengeler I., Seggelmann R., Tuexen M., Stewart R., (2011), "Stream control transmission protocol: Past, current, and future standardization activities", IEEE Communications Magazine, 49(4), 82–88.

Huang J., Qian F., Gerber A., Mao Z. Morley, Sen S., Spatscheck, O., (2012), "A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks", The 10th International Conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys), New York, NY, USA, 225-238, 25-29 June.

IEEE Std P802.21/D14.0, (2008), “Media independent handover services“, September.

IETF, (2010), Signaling transport (SIGTRAN), September.

Inzerilli T., Vegni A., Neri A., Cusani R., (2008), “A location-based vertical handover algorithm for limitation of the ping-pong effect”, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WIMOB), 385–389, Avignon, France, 12-14 October.

Jin D., Shi F., Song J., (2011), “Energy-Efficiency Media Independent Handover Mechanism”, The 10th IEEE Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 1727-1732, Changska, China, 16-18 November.

Kassar M., Kervella B., Pujolle G., (2008), “An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks”, Computer Communications, 31(10), 2607–2620.

Lin Y.-W., Huang T.-H., (2007), “Sip-based handoff in 4g mobile networks”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2806–2811, Hong Kong, China, 11-15 March.

Liu H., Maciocco C., Kesavan V., Low A.L.Y., (2009), “Energy efficient network selection and seamless handovers in Mixed Networks”, The 10th International IEEE Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks and Workshops (WoWMoM), 1-9, Kos, Greece, 15-19 June.

M´arquez-Barja J., Calafate C., Cano J.C., Manzoni P., (2011), “An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools”, Computer Communications, 34(8), 985–997.

Ma L., Yu F., Leung V., Randhawa T., (2004), “A new method to support umts/wlan vertical handover using sctp”, IEEE Wireless Communications 11(4), 44–51.

Nam M., Choi N., Seok Y., Choi Y., (2004), “WISE: energy-efficient interface selection on vertical handoff between 3G networks and WLANs”, The 5th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 692-698, Barcelona, Spain, 5-8 September.

Perkins C., (2002), “Ip mobility support for ipv4”, August.

Pries R., Mäder A., Staehle D., (2006), “A Network Architecture for a Policy-Based Handover Across Heterogeneous Networks”, OPNETWORK 2006, Washington D.C., USA, 28 August – 1 September.

Pries R., Staehle D., Tran-Gia P., Gutbrod T., (2008), “A seamless vertical handover approach”. In: Cerd`a-Alabern, L., Editors, “Wireless and Mobility”, Springer.

Stewart R., (2007), “Stream Control Transmission Protocol”, RFC 4960, September.

Stewart R., Ramalho M., Xie Q., Tuexen M., Conrad P., (2004), “Stream control transmission protocol (SCTP) partially reliable extension”, RFC 3758, May.

Stewart R., Xie Q., Morneault K., Schwarzbauer C., Taylor T., Rytina I., Kalla M., Zhang L., Taylor T., (2000), “Stream Control Transmission Protocol”, RFC 2960, October.

Stewart R., Xie Q., Tuexen M., Maruyama S., and Kozuka M., (2007), “Stream control transmission protocol (SCTP) dynamic address reconfiguration”, RFC 5061, September.

Taniuchi K., Ohba Y., Fajardo V., Das S., Tauil M., Cheng Y.-H., Dutta A., Baker D., Yajnik M., Famolari D., (2009), “IEEE 802.21: media independent handover: features, applicability, and realization”, Communications Magazine, 47(1), 112–120.

Toledo N., Higuero M., Jacob E., Matias J., (2009), “Extending the host identity protocol for next generation wireless networks”, The 6th IEEE and IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 1–5, Cairo, Egypt, 28-30 April.

Tran T., Kuhnert M., Wietfeld C., (2012), “Energy-Efficient Handoff Decision Algorithms for CSH-MU Mobility Solution”, The 21th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), 1-6, Munich, Germany, 30 July – 2 August.

Tuexen M., Stewart R., Lei P., Rescorla E., (2007), “Authenticated chunks for the stream control transmission protocol (SCTP)”, RFC 4895, August.

Xenakis D., Passas N., Di Gregorio L., Verikoukis C., (2011), “A Context-Aware Vertical Handover Framework Towards Energy-Efficiency”, The 73rd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 1-5, Budapest, Hungary, 15-18 May.

Zekri M., Pokhrel J., Jouaber B., Zeghlache D., (2011), “Reputation for Vertical Handover decision making”, The 17th IEEE Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), 318-323, Sabah, Malaysia, 2-5 October.

ÖZGEÇMİŞ

Mahmud Rasih ÇELENLİOĞLU, 1989 yılında İstanbul'un Üsküdar ilçesinde doğmuştur. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul'da tamamlayıp 2011 yılında Işık Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden lisans mezunu olmuştur. 2012 yılından itibaren Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.