

**MOBİL TASARSIZ AĞLARDA MESH TABANLI MULTICAST
YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ**

Mohammed R. BAKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2009

ANKARA

Mohammed R. BAKER tarafından hazırlanan MOBİL TASARSIZ AĞLARDA MESH TABANLI MULTICAST YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL
Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih:/09/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mohammed R. BAKER

**MOBİL TASARSIZ AĞLARDA MESH TABANLI MULTICAST
YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Mohammed R. BAKER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2009

ÖZET

Mobil tasarsız ağlar (Mobile Ad-Hoc Networks-MANETs), gelecekte kullanılarak kablosuz ağlar için anahtar bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Mobil tasarsız ağlar diğer geleneksel ağlardan farklı olarak, çok atlamalı yönlendirme, kolay ve daha ucuz bir üstün teknolojiye sahip olduğu için tercih edilip, kabul görmektedir.

Bu tezde, anonsla birleştirilmiş multicast (Protocol Unified for Multicasting through Announcement-PUMA) protokolü için etkin kuyruk yapısına dayanan bir multicast yönlendirme protokolü (Efficient Queue for Protocol Unified for Multicasting through Announcement-EQ-PUMA) geliştirilmiştir. Geliştirilen EQ-PUMA protokolü mobil tasarsız ağlarda çalışmaktadır. Geliştirilen EQ-PUMA protokolünün deneysel sonuçları PUMA protokolüyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen EQ-PUMA protokolü PUMA protokolünden daha verimli olduğunu ve paket kaybının daha az olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 902.1.014
Anahtar Kelimeler : Ad-Hoc Ağlar, Multicast Yönlendirme Protokolleri, Etkin Kuyruk Yönetimi
Sayfa Adedi : 66
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL

**MESH BASED MULTICAST ROUTING PROTOCOL IN MOBILE AD-HOC
NETWORKS
(M.Sc. Thesis)**

Mohammed R. BAKER

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2009**

ABSTRACT

Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs), are emerged as key technology of the wireless networks future usage. Unlike other traditional Networks, MANETs have been adopted and accepted advantage of multi-hop routing, and more easier and cheaper teknniques.

In this thesis, using an protocol unified for multicasting through announcement (PUMA), an efficient queue for PUMA protocol (EQ-PUMA) multicast protocol have been developed. The developed protocol works with MANET networks. Using java programming language, a comparison between PUMA and EQ-PUMA has been made. Experimental results of the developed EQ-PUMA protocol has been compared with the PUMA protocol. Obtained results shows that the developed EQ-PUMA protocol shows more efficient and minimize packet dropping more than PUMA protocol.

Science Code : 902.1.014

Key Words : Ad-Hoc Networks, Multicast Routing Protocol, Efficient Queue Management

Page Number : 66

Adviser : Assoc. Prof. Dr. M. Ali AKCA YOL

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Danıőman Hocam Sayın Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL'a, Yüksek Lisans eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. őeref SAĐIROĐLU ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan şakir BİLGE'ye, çalıőmam sırasında desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Suphi ÇEVİKER'e ve Sinan TOKLU'ya ayrıca maddi ve manevi her türlü destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KABLOSUZ AD-HOC AĞLAR.....	8
2.1. Kablosuz Ad-Hoc Ağların Çalışma Şekli.....	8
2.2. Kablosuz Ad-Hoc Ağların Sınıflandırması	12
2.2.1. Kablosuz algılayıcı ağlar	13
2.2.2. Mobil tasarsız ağlar	13
2.2.3. Kablosuz mesh ağları	14
3. MANET AĞLARDA MULTICAST YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ.....	20
3.1. Yönlendirme Algoritmaları.....	20
3.1.1. En kısa yol algoritması	20
3.1.2. Minimum maliyetli ağlar	21
3.2. Multicast Yönlendirme Protokollerin Sınıflandırması.....	22
3.2.1. Sel.....	23
3.2.2. Kaynak tabanlı multicast ağlar	24
3.2.3. Çekirdek tabanlı ağlar	25
3.3. Multicast Yönlendirme Protokolleri	26

	Sayfa
3.3.1. DVMRP yönlendirme protokolü	26
3.3.2. MAODV yönlendirme protokolü	28
3.3.3. CAMP yönlendirme protokolü	29
3.3.4. ODMRP yönlendirme protokolü	31
3.3.5. LBM yönlendirme protokolü	32
3.3.6. PUMA yönlendirme protokolü	33
4. GELİŞTİRİLEN MULTICAST YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ.....	37
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	66

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. PUMA protokolünde bağımlılık listesi	33
Çizelge 4.1. EQ-PUMA protokolünde bağımlılık listesi	40

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kablosuz ad-hoc ağlara örnek	8
Şekil 2.2. Bağlantı kopması meydana geldiğinde topoloji güncellemesi	9
Şekil 2.3. Kablosuz ad-hoc ağların sınıflandırması.....	12
Şekil 2.4. Farklı gömülü sistemler üzerinde kurulu mesh yönlendiricileri örnekleri ..	14
Şekil 2.5. Mesh istemci örnekleri	15
Şekil 2.6. Altyapı/omurga kablosuz mesh ağları.....	16
Şekil 2.7. İstemci kablosuz mesh ağları	17
Şekil 2.8. Hibrit kablosuz mesh ağları	18
Şekil 3.1. Düzlemsel bir grafik için minimum kapsayan ağaç. Her kenar ağırlığıyla etiketlendi ki burada uzunluğuna neredeyse eşittir	22
Şekil 3.2. Sel yönlendirme algoritması	24
Şekil 3.3. Kaynak tabanlı multicast ağacı.....	24
Şekil 3.4. Çekirdek tabanlı ağacı	25
Şekil 3.5. DVMRP ağaç oluşturma mekanizması	27
Şekil 3.6. MAODV protokolü	29
Şekil 3.7. CAMP protokolü	30
Şekil 3.8. ODMRP protokolünün çalışma mekanizması	30
Şekil 3.9. PUMA protokolünde multicast anons paketinin yayılımı	34
Şekil 3.10. PUMA protokolünde mesh düğümlerinin paket iletilmesi	35
Şekil 4.1. EQ-PUMA protokolünde multicast anons paketinin yayılımı	39
Şekil 4.2. EQ-PUMA protokolünde mesh düğümlerinin kurulması.....	41
Şekil 4.3. EQ-PUMA protokolünde senaryo temsili	42

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Birinci senaryoda PUMA protokolünde üretilen paket sayısı	47
Şekil 5.2. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde üretilen paket sayısı	48
Şekil 5.3. Birinci senaryoda PUMA ve EQ-PUMA protokollerinde üretilen paket sayısı	48
Şekil 5.4. Birinci senaryoda PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği ...	49
Şekil 5.5. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği	49
Şekil 5.6. Birinci senaryoda PUMA protokolünde atılan paket sayısı	50
Şekil 5.7. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde atılan paket sayısı.....	50
Şekil 5.8. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki atılan paket oranını.....	50
Şekil 5.9. Birinci senaryoda EQ- PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki paket alma oranını.....	50
Şekil 5.10. Birinci senaryoda son alıcı düğümlerde paket hareketi karşılaştırması	52
Şekil 5.11. İkinci senaryoda PUMA protokolünde üretilen paket sayısı	52
Şekil 5.12. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde üretilen paket sayısı	53
Şekil 5.13. İkinci senaryoda PUMA ve EQ-PUMA protokollerinde üretilen paket sayısı.....	54
Şekil 5.14. İkinci senaryoda PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği ...	54
Şekil 5.15. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği	55
Şekil 5.16. İkinci senaryoda PUMA protokolünde atılan paket sayısı.....	56
Şekil 5.17. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde atılan paket sayısı	56
Şekil 5.18. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki atılan paket oranını	57
Şekil 5.19. İkinci senaryoda EQ- PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki paket alma oranını	57

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.20. İkinci senaryoda son alıcı düğülerde paket hareketi karşılaştırması58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ABAM	Associativity-Based Ad-Hoc Multicast
ADMP	Adaptive Dominant Multicast Protocol
ADMR	Adaptive Demand Driven Multicast Routing
ADPUMA	Adaptive Protocol Unified for Multicasting through Announcement
AMRIS	Ad-Hoc Multicast Routing Protocol Utilizing Increasing ID Numbers
AMRoute	Ad-Hoc Multicasting Routing
AODV	Ad-Hoc On Demand Distance Vector
CAMP	Core-Assisted Mesh Protocol
CBT	Core Based Tree
DDM	Differential Destination Multicast
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
DPUMA	Efficient Packet Delivery for Protocol Unified for Multicasting through Announcement
EQ-PUMA	Efficient Queue for Protocol Unified for Multicasting through Announcement
FG	Forwarding Group
FGMP	Forwarding Group Multicast Protocol
GloMoSim	Global Mobile Information System Simulator
GPS	Global Positioning System

Simgeler	Açıklama
ICS	Internet Connection Sharing
IETF	Internet Engineering Task Force
JNS	Java Network Simulation
LBM	Location Based Multicast
MA	Multicast Announcement
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MAODV	Multicast Ad-Hoc On Demand Distance Vector
MCEDAR	Multicast Core Extraction Distributed Ad-Hoc Routing
MCT	Minimum Cost Tree
MST	Minimum Spanning Tree
MZRP	Multicast Routing Protocol Based on Zone Routing Protocol
NC-PUMA	Network Coding for Protocol Unified for Multicasting through Announcement
ns-2	Network Simulator-2
ODMRP	On-Demand Multicast Routing Protocol
PIM-SM	Protocol Independent Multicast - Sparse-Mode
PIM-DM	Protocol Independent Multicast - Dense-Mode
PPC	Pocket Personal Computer
PUMA	Protocol Unified for Multicasting through Announcement
RF	Radio-Frequency
RFID	Radio-Frequency Identification
RPF	Reverse Path Forwarding

Simgeler	Açıklama
RREP	Route Replay
RREQ	Route Request
SBT	Source Based Tree
SPT	Shortest Path Tree
SRMP	Source Routing-Based Multicast Protocol
TTL	Time To Live
WAN	Wide Area Network
WBM	Weight-Based Multicast
WiFi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMN	Wireless Mesh Network
WSN	Wireless Sensor Network
ZRP	Zone Routing Protocol

1. GİRİŞ

Tasarsız ağlar (Ad-hoc networks), herhangi bir yerleşik cihaza bağlı olmaksızın kablosuz cihazlar tarafından kendi aralarında kurulan ve yönetilen ağlardır. İki kablosuz istemci birbirinin kapsama alanında iseler doğrudan bağlantı kurulabilir. Başka bir deyişle birbirlerine 1 atlama uzaklıktadırlar. Aksi takdirde ancak diğer iletici istemcilerin yardımı ile bağlantı kurabilirler, bu tip bağlantılara çok atlamalı bağlantı adı verilmektedir.

Bilgisayar ağlarında iletişim broadcast, unicast ve multicast olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır. Broadcast iletişimde, gönderici tarafından gönderilen paket bütün ağdaki alıcılar tarafından alınmaktadır. Unicast iletişimde paketler her bir alıcıya, gönderici tarafından ayrı ayrı gönderilmektedir. Multicast ağlarda ise gönderici tarafından bir defada gönderilen paketler ağ üzerinde kopyalanarak her bir alıcıya ulaştırılmaktadır.

Kablosuz ağların giderek yaygınlaştığı günümüzde kablosuz ağ teknolojilerinin sahip olduğu önem gün geçtikçe artmaktadır. Kablosuz ad-hoc ağlar ise yerleşik ağ yapılanmasının bulunmadığı veya afet yönetimi gibi yerel kaynakların kullanılamaz olduğu durumlarda çok gerekli ve etkili olmaktadır. Kablosuz cihazların genellikle pil gücü ile çalıştırıldığı da düşünüldüğünde, kablosuz cihazlarca alınacak veya iletilecek her bir paket, ağ verimliliği ve dolayısıyla çalışma verimliliği bakımından önem taşımaktadır.

Mobil tasarsız ağlarda (Mobile Ad-Hoc Networks-MANETs) multicast yönlendirme problemlerini çözmek için birçok algoritma ve protokol geliştirilmiştir. Bu protokollerin ortak amacı, ad-hoc ağların yüksek hareketlilik ve hızlı bağlanma/ayrılma özellikleri dolayısıyla, kesintisiz ve kaliteli iletim olanağı sağlamaktır.

MANET ağlar için birçok multicast yönlendirme protokolü vardır [1-12,14-19]. Genel olarak bu yönlendirme protokolleri ağaç tabanlı ve mesh tabanlı yönlendirme

protokolleri olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Ağaç tabanlı yönlendirme protokolleri, ağın yapılandırması, onarması ve multicast ağının paylaşımını yapmaktadır. Buna örnek MAODV[1], ADMR[2] protokolleridir.

Ağaç tabanlı yönlendirme protokollerinde (MAODV ve ADMR vb.), bir ağacın yapısının kurması ya da onarması MANET ağlarında çok önemli bir sorundur. Çünkü ağdaki düğümler, hareketlidir ve bundan dolayı protokollerin yükünü de artırır. Dolayısıyla bu tür protokollerin genel performansında olumsuz bir etki olarak görünür.

Öte yandan, mesh tabanlı multicast yönlendirme protokolleri (CAMP[3] ve ODMRP[4] vb.), her multicast grubu için mesh üyelerinin onarmasından sorumludur. Mesh tabanlı multicast yönlendirme protokolleri, multicast grubundaki bütün alıcıların birbiriyle bağlantısını sağlamaya çalışır. Aynı zamanda eğer alıcılar arasındaki bağlantı koparsa, hemen bu bağlantıları onarmaya çalışır. Yüksek hareketlilik veya yüksek kanal-çekişmesi durumunda, multicast trafiğini iletmek için gereksiz değişimler kullanılırsa, mesh tabanlı yönlendirme protokolleri çok düşük performansa sahip olabilirler.

1998 yılında M. G. Ching-Chuan Chiang ve Lixia Zhang, "Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop, Mobile Wireless Networks," adlı makaleleriyle FGMP protokolünü sunmuşlardır [5]. FGMP protokolü, FG düğümlerini kullanarak paket dağıtımını azaltarak hedefe ulaşır. Böylece kanal trafiği ve kayıt trafiğini azaltmaya çalışır. Bu protokol sadece küçük ağlarda iyi bir performans gösterir.

1999 yılında R. S. Prasun Sinha ve V. Bharghavan, "MCEDAR: Multicast Core-Extraction Distributed Ad-hoc Routing," adlı makalede MCEDAR protokolünü sunmuşlardır [6]. Önerilen MCEDAR protokolü, çok esnek bir yapıya sahip olmasına rağmen, küçük multicast gruplarında kullanıldığı zaman az verimli ve çok maliyetli bir protokol haline gelebilir. MCEDAR hem mesh tabanlı hem de ağaç tabanlı bir protokol olduğu için çok karmaşık bir protokoldür.

1999 yılında J. J. Garcia-Luna-Aceves ve E. L. Madruga, "The Core Assisted Mesh Protocol," adlı makalede CAMP adlı protokolü sunmuşlardı. CAMP protokolü [3], CBT [20] yaklaşımını genişleten bir protokoldür. CAMP protokolünde eğer ağda bağlantı koparsa yada düşerse, bağlantılar yeniden Bellman-Ford kısa-yol algoritmasına dayanarak yeni bir yol kurarlar. Dolayısıyla multicast ağında kopan bağlantıların pek etkisi olmaz. Fakat multicast ağacının mesh parçalarında herhangi bir kopma varsa, multicast paketini iletmek için düğümlerin arasındaki bağlantıyı yeniden kurmaya çalışır.

E. M. Royer ve C. E. Perkins, 2000 yılında "Multicast Ad-Hoc On Demand Distance Vector (MAODV) Routing," adında standart haline gelen bir protokol sunmuşlardır, MAODV protokolü[1], AODV protokolünün multicast versiyonudur. Bu protokolün en büyük sorunlarından biri, yüksek hareketlilik ve trafik yoğunluğunda, MAODV protokolü kırık bağlantıları düzeltmeye çalışırsa, ağda çok uzun gecikmeler ve çok yüksek trafik oluşmasına neden olur. Ek olarak yüksek hareketlilik ortamda, düşük paket ulaştırma oranına sahiptir. Tek sinyal kullandığı için ağda çok sıkıntı yaşatır.

2000 yılında C. K. Toh, G. Guicha, ve S. Bunchua, " ABAM: On-Demand Associativity-based Multicast Routing for Ad-Hoc Mobile Networks," adlı makaleyi sunmuşlardır [7]. Bu makalede ABAM protokolünde göndericiyle alıcı arasındaki bağlantının sabitlendiği için, diğer multicast protokollerinden daha az trafik oluşturduğunu belirtmişlerdir.

C. W. Wu, Y. C. Tay, ve C.-K. Toh, 2000 yılında "Ad-hoc Multicast Routing Protocol Utilizing Increasing Id-Numbers (AMRIS)," standart haline gelmiş bir protokol sunmuşlardır [8]. Bu protokolde merkezi bir düğüme bağlanmadan kopuk ve kırık bağlantıları onarmaya çalışır. Düğümler periyodik bir şekilde alıcılara sinyal gönderir. Sonuç olarak bant genişliğinde israf olur ve birçok paket sinyaller arasında çarpışma nedeniyle kaybolur.

2001 yılında ise, J. Jetcheva ve D. B. Johnson, "Adaptive Demand-Driven Multicast Routing in Multi-Hop Wireless Ad-Hoc Networks," adlı makaleyi sunmuşlardı. Bu

makalede ADMR protokolü [2] ağ trafiğine uyumlu bir şekilde çalışıp gereksiz trafiği iptal etmeye çalışır. Bu protokolün kısıtlamalarından biri gruptaki her kaynak için, büyük miktarda durum bilgilerini onarmaya ihtiyaç vardır. Dolayısıyla bir düğümün gruba katılması çok maliyetli olur. Buna ek olarak hareketlilik düşünce, düğümlerin bir durumdan alt duruma geçmesi önerilmiştir.

2001 yılında J. Lusheng, ve M. S Corson, "Differential Destination Multicast: A MANET Multicast Routing Protocol for Small Groups," adlı makalelerinde DDM protokolünü sunmuşlardır [9]. DDM protokolü az hafıza kullanır. Bu protokolle gönderici düğümler tarafından sürekli multicast grubunda kalma durumunu kontrol ettiği için, yüksek bant genişliği kullanır. Ek olarak alıcı sayısı çoğaldıkça, DDM paket bloğu gittikçe büyür.

2002 yılında S. J. Lee, W. Su ve M. Gerla, "On-Demand Multicast Routing Protocol in Multihop Wireless Mobile Networks," adlı makalede ODMRP protokolünü sunmuşlardır [4]. Makalede önerilen protokol, multicast grubunda onarma işlemlerinden dolayı ağda olan diğer paketler beklemek zorunda kalır, dolayısıyla ağda yüksek trafik oluşturur. Yol onarma önleyicisi kullanarak bu sorun ortadan kalkabilir. Başka bir problem daha vardır. Aynı paket birden fazla yol kullandığı için, paketin kopyası ağın içinde birden fazla yayılır. Buna ek olarak, ODMRP protokolünün ölçeklendirme problem de vardır. Artı alıcı düğümler multicast paketlerini almasalar bile, multicast grubunun bir parçası olmak zorundadırlar.

H. Moustafa ve H. Labiod, 2002 yılında "SRMP: A Mesh-Based Protocol for Multicast Communication in Ad-Hoc Networks," adlı makalede, SRMP protokolünü sunmuşlardır [10]. Önerilen protokol multicast grubuna sabit yolları seçer. Buda yolun TTL'ini (Time To Live) maksimuma çıkarır. Dolayısıyla dayanıklı bir ağ oluşturur. Ek olarak yol bulma ve bağlantı kopma işlemleri isteğe bağlı olarak yapılır.

2002 yılında J. Xie, R. R. Talpade, A. McAuley, ve M. Liu, "AMRoute: Ad-hoc Multicast Routing Protocol," adlı makaleyi sunmuşlardır [11]. Bu makalede önerilen

protokol verimli bir şekilde ağaç tabanlı bir yapı oluşturur. Dolayısıyla ağda herhangi bir değişiklik olsa multicast gönderici ağacını hiç bir şekilde etkileyemez. Hareketlilik söz konusu olunca, protokol gereksiz ağaçlar kurar, bu nedenle bilgi döngüsü olduğu için AMRoute protokolünde sorun yaşanır.

2001 yılında J. Lusheng, ve M. S Corson, "Differential Destination Multicast: A MANET Multicast Routing Protocol for Small Groups," adlı makalede WBM protokolünü sunmuşlardı [12]. Bu protokolda ağırlık kavramı alıcı düğümlere esneklik sağlar. Ağırlık multicast grubunun boyutuna ve ağ yoğunluğuna dayandığı için, WBM protokolünün bir dezavantajı olarak sayılır. Özel bir teknik kullanarak, paketlerin izlediği yolun kopmasına engel olur. Kullanılan özel teknik yüksek gürültülü ortamda iyi çalışmayabilir.

2004 yılında X. F. Zhang ve L. Jacob, "MZRP: An Extension of the Zone Routing Protocol for Multicasting in MANETs," adlı makaleyi sunmuşlardır [13]. Sunulan protokol, ZRP [14] protokolünün multicast versiyonudur. MZRP protkölü, ODMRP protokolünden daha az trafik oluşturur. Bu protokolün en başta gelen dezavantajlarından biri, gönderici yayını dışında olan düğümler gruba girmek için belli bir zaman beklerler. Ağaç tabanlı yaklaşımla karşılaştırılırsa eğer, düğümler kendi aralarında multicast dışında birçok gruplar oluştururlar.

R. Vaishampayan ve J. J. Garcia-Luna-Aceves, 2004 yılında "Protocol for unified multicasting through announcements (PUMA)," adlı makaleyi sunmuşlardır [15]. Bu makalede sunulan PUMA protokolü tek bir düğüm kullanarak paket trafiğini azaltır.

2004 yılından beri PUMA protokolü üzerinde bir takım çalışmalar vardır. İlk çalışmalar 2005 yılında ADPUMA [16] R. Menchaca-Mendez, J. J. Garcia- Luna-Aceves ve R. Vaishampayan tarafından sunulmuştur. Multicast paketini hedefe ulaştırmak için, oluşan trafik yükünü azaltmaya çalışır. Bant genişliğini sabit tutup enerjini tüketimini korur.

2005 yılında R. Menchaca-Mendez, R. Vaishampayan, J. J. Garcia-Luna-Aceves ve K. Obraczka, DPUMA [17] protokolünü sunmuşlardır. PUMA protokolündeki paket ulaştırma oranını yükseltmeye çalışır. Fakat düğümlerde hareketlilik konusunda sıkıntılar vardır.

2006 yılında ise Rolando Menchaca-Mendez, Ricardo Menchaca-Mendez ve J. J. Garcia- Luna-Aceves ADMP [18] protokolünü önermişlerdi. Önerilen protokolünde kullanılan kontrol mesajı görevi, multicast grubunun mesh üyelerini yapıp sonra her mesh düğümü için bir çekirdek düğüm seçilir. Ek olarak iki atlamalı komşu bilgilerini içerir.

Son olarakta 2009 Nisan ayında J. Jin ve Y. Mingxi tarafından NC-PUMA [19] protokolünü sunmuşlardır. Sunulan protokol, ağ kodlamasına dayalı bir protokoldür. Sunulan protokol, paketin iletim zamanını ve enerji tüketimini azaltır.

MANET ağlarda tıkanıklık ve enerji tasarrufu bir ağın performansını ölçmek için en önemli hususlardır. MANET ağlarda tıkanıklık sorununu önlemek için bir çok çalışmalar vardır:

2008 yılında M. Şimşek ve M. A. Akcayol "Kablosuz Ağlarda Sezgisel Bir Yönlendirme Protokolü ve Tıkanıklık Denetimi" isimli makalelerinde, kablosuz ağlar için bir sezgisel yönlendirme protokolü geliştirilmişlerdir. Geliştirilen protokol, tıkanıklık oluşmadan önce yük dağılımını yeniden düzenleyerek tıkanıklığı önlemişlerdir.[21].

2009 yılında S. Toklu ve M. A. Akcayol, "WAP Trafğinde Tıkanıklık Denetimi ve Ulaşım Katmanı Protokolleri" isimli makalelerinde, WAP protokollerini kullanan mobil ağlarda meydana gelebilecek tıkanıklığı önlemek için etkin bir kuyruk denetimi yapmışlardır. Bu denetimi gelen paketlerin önceliklerini göz önüne alarak gerçekleştirmişlerdir [22].

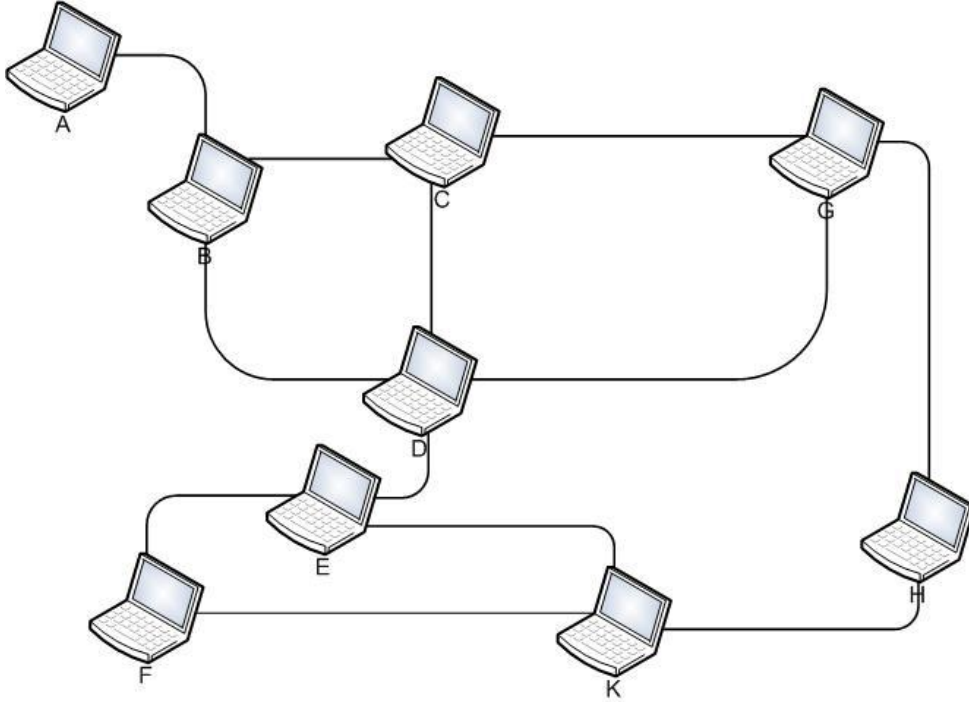
2007 yılında İ. Bay “Ad-Hoc Ağlarda Enerji Etkin Yönlendirme Protokolü,” adlı yüksek lisans tezinde, MANET ağlarında düğümün enerjisini korumak için etkin bir yöntem kullanmıştır [23].

2. KABLOSUZ AD-HOC AĞLAR

Bu bölümde önce kablosuz ad-hoc ağların yapısına değinilecek, ad-hoc ağların türleri anlatılacak ve Ad-hoc ağlardaki problemlerin nedenleri üzerinde durulacaktır. Sonra ad-hoc ağlarda multicast yönlendirme protokollerinin sahip olması gereken genel özelliklerden bahsedilecektir. Son olarak da ad-hoc ağlarının sınıflandırılmasından bahsedilecektir.

2.1. Kablosuz Ad-Hoc Ağların Çalışma Şekli

Kablosuz ad-hoc ağlar basit anlamıyla, iki düğümün arasındaki kablosuz iletişim kullanarak oluşturulur. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi düğüm A, düğüm B ile bir kablosuz iletişim kurmaktadır.



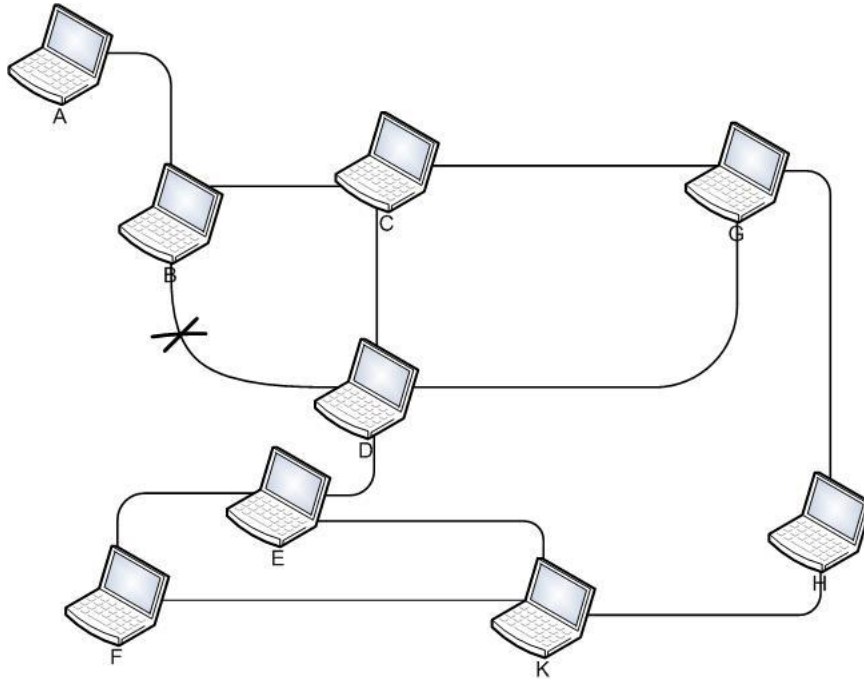
Şekil 2.1. Kablosuz ad-hoc ağlara örnek

Eğer iki düğümün arasında kullanılan kanallar uygun değilse, bir veya birkaç tane düğümün yönlendirici olarak görev yaptığı çok atlamalı bir iletişim meydana

gelecektir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi düğüm A, düğüm D ile iletişim kurmak için iki A-C-D veya A-B-D yoldan birisini izleyerek iletişimi sağlanmalıdır.

Eğer düğüm A düğüm C ile iletişim isterse, burada A düğümünü B düğümü kullanarak bu iletişimi sağlar. Aynı şekilde eğer düğüm A, Düğüm E ile bağlanmak isterse D düğümünü ara yönlendirme düğümü olarak kullanılmalıdır. Ad-hoc ağlarda bütün düğümlerin paketler için alıcı ve gönderici olarak hizmet görebilmesinin yanında yönlendirici olarak hizmet verebilmesidir.

Eğer düğüm B ve D direk iletişim kuramıyorsa ya da çeşitli nedenlerden dolayı aradaki bu bağlantı koparsa, A düğümü paketleri D düğümüne göndermek için B düğümünü yönlendirici olarak kullanmaktadır. Fakat B ve D arasında doğrudan bağlantı olmadığı için yönlendirme tablosunu güncellemektedir. Şekil 2.2’de bağlantı kopması durumunda topolojinin güncellenmesinin nasıl olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2. Bağlantı kopması meydana geldiğinde topoloji güncellenmesi

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi düğüm B ve D arasındaki bağlantı koparsa, A düğümü B düğümünü kullanarak D düğümüne paket gönderebilir. Eğer A düğümünün E

düğümü ile de bir bağlantı kullanılır hale gelseydi, A düğümü E düğümünün bir yönlendiricisi olarak kullanacaktı ve A-E-D yolu kurulmuş hale gelip bu yolu da kullanabilirdi. Bunun için A-E yolu kullanılır olmadığından A düğümü paketlerini B düğümü üzerinden gönderir.

Şekilde düğüm B ile düğüm D arasındaki bağlantı koptuğu için A düğüm yönlendirme tablosunu güncelleyip diğer düğümler ile paylaşır. Düğüm C'nin yönlendirme tablosunda düğüm D ile bağlantısı olduğu için, düğüm A paketini düğüm C'ye yönlendirir. Ortaya çıkan yeni yol A-B-C-D şeklinde olur. Bir sonraki paket gönderimlerinde aynı yolu kullanmak için her düğüm ortaya çıkan yolu kendi yönlendirme tablosuna kaydetmesi gerekir.

Kablosuz ad-hoc ağlarında hareketli düğümler olduğu için bazen düğümler arasındaki ulaşılabilirlik ilişkisini etkiler. Örneğin bir düğüm kapsama alanı dışına çıkabilir veya çok uzaklaşabilir, enerjisi tükenebilir ya da yazılım veya donanım hatasından dolayı düğümler arasındaki ilişki değişebilir. Ağa giderek daha fazla sayıda düğüm katıldıkça ya da bazı mevcut düğümler ayrıldıkça, topoloji güncellemeleri giderek daha fazla sayıda, daha karmaşık hale gelerek, kullanıcı verilerini takas etmek üzere kullanılabilir olan ağ göndericilerini ortadan kaldırmaktadır.

Eğer ağ topolojisinde sık sık değişiklikler meydana gelirse, göndericiyle alıcı düğümleri arasında döngü oluşmayan bir yol bulmak imkânsız hale gelebilmektedir. Dolayısıyla, düğümler arası iletişim kurma, artan hareketlilikle zayıflamakta ve sonuç olarak ağ topolojisi bilgisi artan oranda uyumsuz hale gelmektedir. Eğer bir ağ topoloji değişimi bütün topoloji güncellemelerinin gerektiği şekilde başarıyla aktarılmasına izin verecek kadar yavaşsa veya yönlendirme algoritması sonraki değişim meydana gelmeden önce ağdaki değişiklikleri başarıyla aktarmaya yetecek kadar verimli ise kombinasyon olarak dengelidir denilebilir. Açık bir şekilde kombinasyon dengesi ağların yalnızca bağlantı özellikleri ile belirlenmemekte aynı zamanda diğer pek çok ağ arasında kullanılmakta olan yönlendirme protokolünün verimi ve düğümlerin anlık hesaplama kapasitesi tarafından da belirlenmektedir.

Böylece kombinasyon dengesi bir ad-hoc ağ içerisindeki verimli yönlendirme amaçlarını başarmak için göz önünde bulundurulması gereken hayati bir işlevi gerçekleştirir.

Ad-hoc ağlar için şu ana kadar pek çok yönlendirme protokolü önerilmiştir. Bu önerilen protokollerin her biri bir önceki yaklaşıma göre bazı avantajlar sunmaktadır. Ancak bir ad-hoc ağı yönlendirme protokolünün sahip olması gereken genel özellikler vardır. Bunlar [24, 25, 42];

Döngüsizlik: Göndericiden alıcıya giden yolda döngülerin olması, verimsiz yönlendirmeye neden olmaktadır. En kötü durum senaryosuna göre, paketler döngüye girer ve süresiz olarak gidip gelmeye devam eder ve varış noktalarına hiçbir zaman ulaşamazlar.

Dağıtık kontrol: Merkeziyetçi yönlendirme planında bir düğüm bütün topolojik bilgileri alıp kaydetmekte ve bütün yönlendirme kararlarını bu düğüm vermektedir. Dolayısıyla ölçeklenebilir değildir. Bir merkezi yönlendirici olduğu için tek noktada olabilecek bir başarısızlık sistemin tıkanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca merkezi yönlendiricinin yakınlarındaki ağ yönlendirme sorguları ve yanıtlarının oluşturacağı trafikten dolayı ağ tıkanabilmektedir.

Hızlı yönlendirme: Yönlendirme kararlarının çok hızlı verilmesi ve yeni oluşan topolojinin düğümlere bildirilmesinin hızlı olması hatta yoğunlaşabilecek trafiği azaltmaktadır. Bu sayede yönlendirme çok hızlı şekilde yapılabilmekte ve daha çok veri gönderilebilmektedir.

Güç açısından verimli: Bir yönlendirme protokolü güç açısından verimli kullanılmalıdır. Yani protokol yükü eşit dağıtılmalıdır, aksi takdirde bağlantısı kopan düğümler topolojilerin parçalanarak bazı yolların erişilemez hale gelmesine neden olabilmektedirler.

Güvenlik: Yönlendirme protokolleri güvenli olmalıdır. İletişim düğümleri için kimlik doğrulama, hattın dinlenmesi, yönlendirmenin hatalı yapılmasını gibi olayları önlemek ve hattın daha güvenli olması için veri iletişiminin şifreli şekilde yapılmasını sağlamak gerekmektedir.

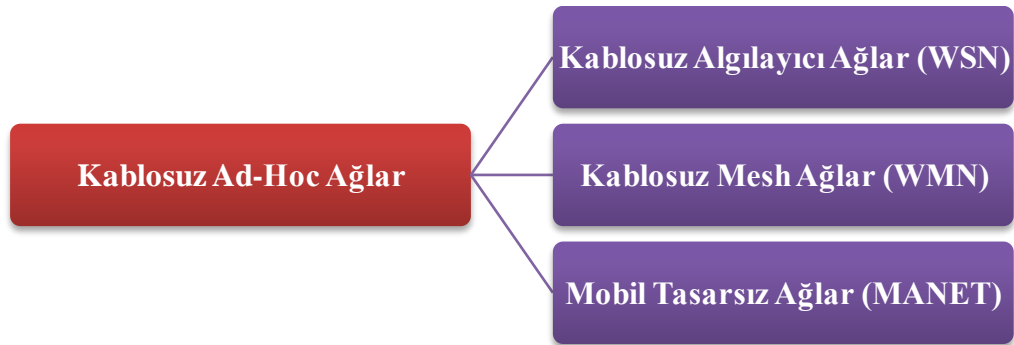
Topoloji değişiklikleri sırasında oluşabilecek tepkiler: Ağın bir bölümünde meydana gelen topoloji değişiklikleri ağın uzakta bulunan diğer kısımlarındaki yönlendirme stratejisinde fazla değişiklik meydana getirmemelidir. Bu durum yönlendirme tablolarının güncelleme olaylarını kontrol altında tutmakta ve algoritmayı daha ölçeklendirilebilir hale getirmektedir.

Yolların çokluluğu: Düğüm hareketliliği bazı yollarda kesintiye neden olsa bile, diğer yollar paketin teslim edilmesi için kullanılabilir olmalıdır.

Hizmet kalitesi: Yönlendirme protokollerinin hizmet kalitesi üst seviyede olmalıdır. Hizmet kalitesi, bir gönderici ve alıcı düğümünde meydana gelebilecek gecikmeleri ve işlem kapasitesi hakkında bilgi sahip olmalı ve gerçek zamanlı bir uygulamanın başarılı olabileceği süreyi doğrulayabilmelidir.

2.2. Kablosuz Ad-Hoc Ağların Sınıflandırması

Temel olarak kablosuz ad-hoc ağlar üç temel bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler aşağıdaki şekil 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.3. Kablosuz ad-hoc ağların sınıflandırması

2.2.1. Kablosuz algılayıcı ağlar

Entegresi düşük-güçlü algılayıcı cihazlar, uzaktan nesne gözlemine ve çok değişik bağlamlarda izlemeye izin vereceklerdir: arazide (araçlar, malzeme, personel), ofiste (projeörler, mobilya, kitaplar, insanlar), hastane bölgesinde (şırıngalar, bandajlar), fabrika da (motorlar, küçük robotik cihazlar). Kablosuz iletişim kapasitelerini kullanarak bu algılayıcılarla ağ kurmak, bunları geniş algılama görevi için kendi kendilerini koordine edebilme yeteneğiyle donatmak çoğu durumlarda bilgi toplama ve bu bilgiyi işlemede devrim yapabilecek bir teknoloji olacaktır. Geniş-ölçekli, dinamik olarak değişen ve sağlam algılayıcı grupları uzak coğrafi bölgeler veya zehirli kentsel bölgeler gibi barınmanın olmadığı alanlara yerleştirilebilir [30].

Kablosuz Algılayıcı Ağlar ZigBee olarak da adlandırılır. Burada temel amaç çok düşük maliyetli, düşük enerji tüketimli ve düşük veri hızlı ürünler geliştirmektir. ZigBee teknolojisi bu küçük algılayıcıların binlercesi arasında haberleşmenin koordinasyonunu sağlamaktadır. Bu algılayıcılar sıcaklık, kimyasallar, su ve hareket hakkında bilgi toplayabilirler. Bu algılayıcılar az enerji kullanmak üzere tasarlanmışlardır çünkü bir bölgede 5 ile 10 yıl arasında kalabileceklerdir. Dolayısıyla pilleri buna yetmelidir. Zigbee cihazları radyo dalgaları vasıtasıyla veriyi birbirinden geçirirler ve etkili biçimde haberleşirler. Sonuçta veri analiz için bir bilgisayara bırakılır veya Wi-Fi, Wi-Max gibi başka bir kablosuz teknoloji tarafından kullanılabilir [27].

2.2.2. Mobil tasarsız ağlar

Şu andaki birçok kablosuz yerel ağlar (Wireless Local Area Networks - WLANs), diğer ağlara erişimi sağlayan ve MAC içeren bir altyapı ağına ihtiyaç duyarlar. Tasarsız ağlar ise herhangi bir altyapıya ihtiyaç duymazlar. Tasarsız ağların tasarımındaki önemli bir dönüm noktası iki iletişim düğümü arasındaki yolu etkili bir şekilde bulan dinamik yönlendirme protokolünün geliştirilmesidir. Tasarsız ağlarda, IP-Bazlı protokollerde bir yönlendirme çatsı oluşturmak için Internet Mühendislik Görev Zorlama (Internet Engineering Task Force - IETF) içinde Mobil tasarsız ağ

çalışma grubu oluşturulmuştur [28]. Mobil tasarsız ağlar çoklu-aralıklı, düğümleri kablosuz ve mobil olan, altyapısız ve trafiğin çoğu da kullanıcıdan kullanıcıya olan ağlardır [26].

2.2.3. Kablosuz mesh ağları

Kablosuz bir ortamda, bir düğümdeki bir radyo frekansı (Radio Frequency - RF) gönderici/alıcı sanal olarak sınırsız sayıda olan diğer düğümlerle iletişim kurabilme yeteneğini bünyesinde barındırmaktadır. Bu yüzden, kablolu bağlayıcıyla özdeşleşmiş fiziksel zorluklar kablosuz bir ortamda daha az söz konusu olmaktadır. Bu da, RF yayıcı/alıcı formatındaki bir ara yüzün kablolu bir ortamda gerekli olan çoklu ara yüzlerin yerine kullanılabilir olmasından dolayı, bir düğümün diğer birçok düğümle temas kurması hem pratik hem de nispeten basit bir yöntemdir. Şu da açık ki, temasın olabilmesi için diğer düğümlerin transmisyon arzusunda olmaları gerekmektedir.

Kablosuz mesh ağları iki tür düğümden oluşmaktadır: mesh yönlendiricileri ve mesh istemcileri. Geleneksel kablosuz yönlendirici de olduğu gibi ağ geçidi/tekrarlayıcının yönlendirme kabiliyetinden ziyade, kablosuz bir mesh yönlendiricisi, mesh ağını desteklemek için ek yönlendirme fonksiyonları içermektedir [29].



Şekil 2.4. Farklı gömülü sistemler üzerinde kurulu mesh yönlendiricileri örnekleri

- (a) Power PC
- (b) İleri Risk Makinesi

Mesh yönlendiricileri tahsis edilmiş bilgisayar sistemleri (örneğin, gömülü sistemler) temelinde kurulabilirler. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi kompakt gözükebilirler. Ayrıca

genel-amaçlı bilgisayar sistemleri (örneğin, laptop/masaüstü PC) temelinde de kurulabilirler. Mesh istemcileri mesh yönlendiricileri ile kıyaslandığında daha fazla cihaz çeşidine sahiptirler. Laptop/masaüstü PC, pocket PC, PDA, IP telefonu, RFID (Radio Frequency Identification) okuyucusu Şekil 5.2’de gösterildiği gibi başka birçok cihaz da olabilirler.



Şekil 2.5. Mesh istemci örnekleri

- (a) Laptop
- (b) PDA
- (c) Wi-Fi IP Telefonu
- (d) Wi-Fi RFID okuyucu

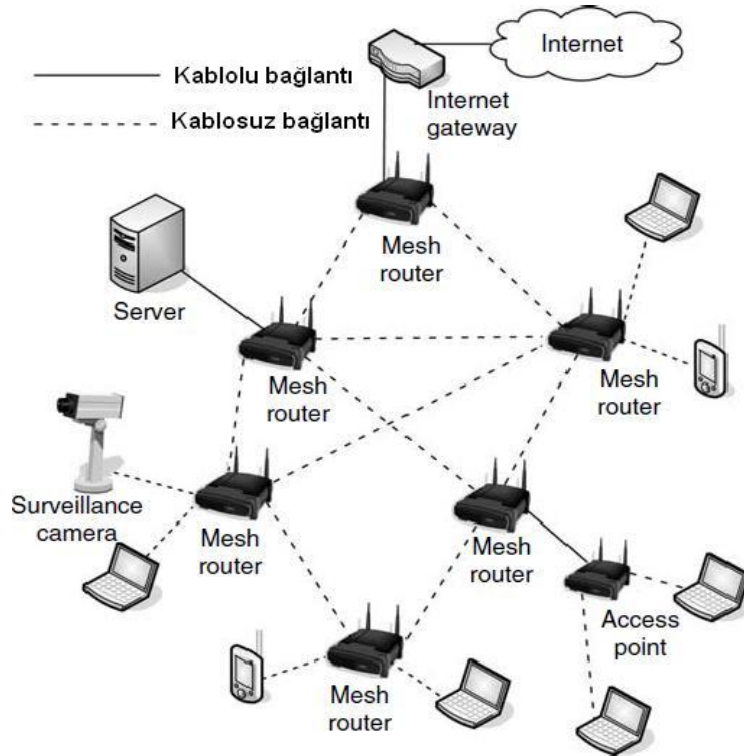
Kablosuz mesh ağlarının yapısı

Genel olarak, üç grup kablosuz mesh ağ yapısı vardır. Bazı referanslarda noktadan noktaya ve altyapı olarak adlandırılan kablosuz ağ yapılarının iki temel türü vardır [31]. Diğer bir referansta da üç tür kablosuz mesh ağ türü vardır: *Altyapı/omurga kablosuz mesh ağları*, *İstemci kablosuz mesh ağları* ve *Hibrit kablosuz mesh ağları* [29].

- Altyapı/omurga kablosuz mesh ağları

Bu tür kablosuz mesh ağları kendilerine bağlı istemciler için altyapı oluşturan mesh yönlendiricileri içermektedir. Altyapı/omurga kablosuz mesh ağları en çok kullanılan

IEEE 802.11 teknolojilerinin yanı sıra çeşitli radyo teknolojileri türleri kullanılarak da kurulabilir. Mesh yönlendiricileri kendi içlerinde kendini-konumlama, kendini onarma bağlantıları oluştururlar. Ağ geçidi fonksiyonu ile mesh yönlendiricileri internete bağlanabilirler. Altyapı mesh sistemi olarak da alınan bu yaklaşım geleneksel istemciler için omurga sağlar. Mesh yönlendiricilerindeki ağ geçidi aracılığı ile mevcut kablosuz ağlarla, kablosuz mesh ağları entegrasyonunu mümkün hale getirir. Ethernet ara yüzleri ile geleneksel istemciler Ethernet bağlantıları aracılığıyla mesh yönlendiricilerine bağlanabilirler. Mesh yönlendiricileri ile aynı radyo teknolojilerine sahip olan geleneksel istemciler, mesh yönlendiricileri ile doğrudan iletişim kurabilmektedirler. Eğer değişik radyo teknolojileri kurulursa, istemciler mesh yönlendiricileri ile Ethernet bağlantıları olan baz istasyonları ile iletişim kurabilirler.



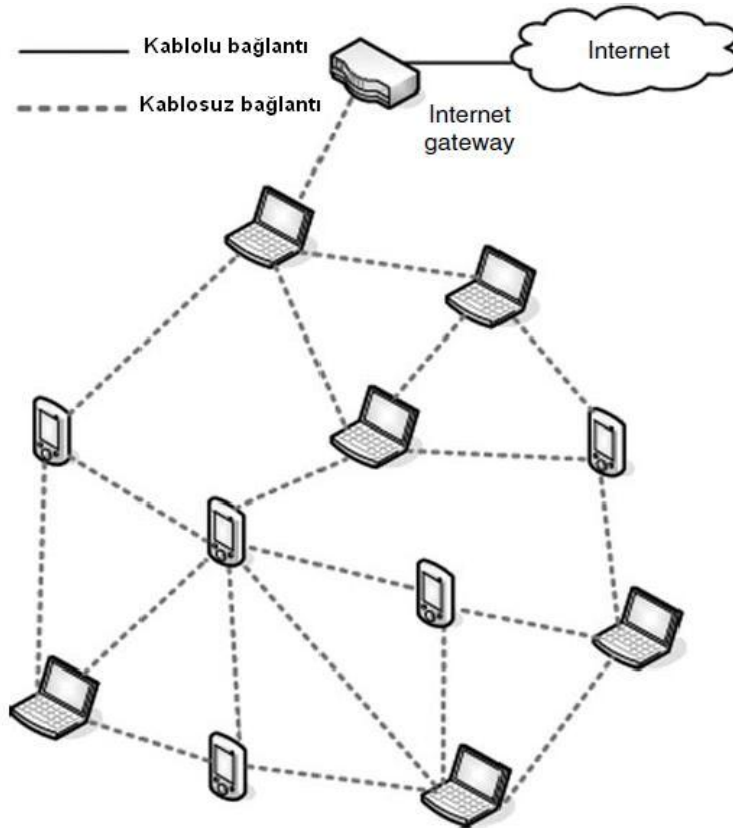
Şekil 2.6. Altyapı/omurga kablosuz mesh ağları

Altyapı/omurga kablosuz mesh ağları en yaygın biçimde kullanılan türdür. Örneğin, topluluk ve civar ağları altyapı mesh sistemi kullanılarak kurulabilir. Mesh

yönlendiricileri bir muhitteki evlerin çatılarına yerleştirilir. Bunlar evlerin içindeki ve sokaklardaki kullanıcılar için geçiş noktası olarak hizmet vermektedirler. Özellikle olarak, iki türlü radyo yönlendiricilerde ayrı ayrı omurga iletişimi ve kullanıcı iletişimi için kullanılır. Mesh omurga iletişim sistemi yönlü antenleri içeren uzun menzilli iletişim tekniklerini kullanarak kurulabilir. Şekil 2.6.'da mesh ağlarındaki omurga/altyapı örneğidir.

- İstemci kablosuz mesh ağları

İstemci mesh sistemi, istemci cihazlar arasında noktadan noktaya ağlar sağlar. Bu tür yapıda, istemci düğümleri, asıl ağı müşterilere son kullanıcı uygulamalarını sağlamanın yanı sıra yönlendirme ve konumlandırma işlevselliğini yerine getirmesi için görevlendirirler. Bu sebeple bir mesh yönlendiricisi bu tür ağlar için gerekmemektedir.



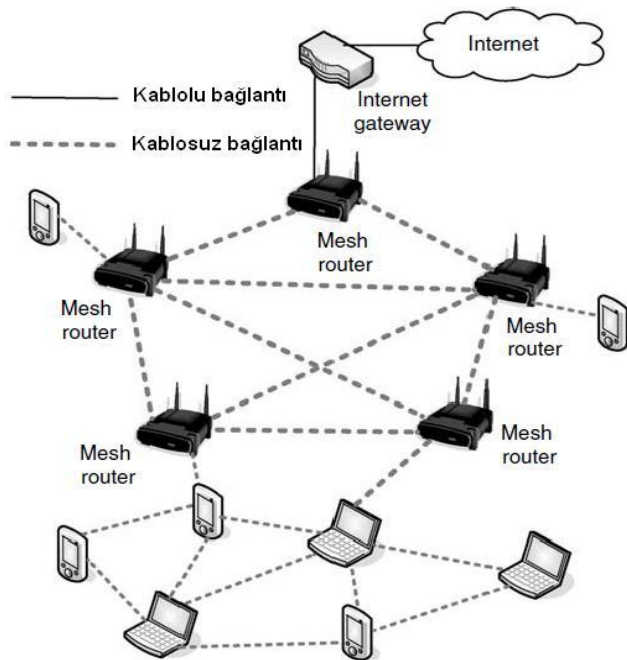
Şekil 2.7. İstemci kablosuz mesh ağları

İstemci mesh sistemi istemci cihazlar arasında noktadan noktaya ağlar sağlar. Bu tür yapıda, istemci düğümleri, asıl ağı müşterilere son kullanıcı uygulamalarını sağlamanın yanı sıra yönlendirme ve konumlandırma işlevselliklerini yerine getirmesi için görevlendirirler. Bu sebeple bir mesh yönlendiricisi bu tür ağlar için gerekmemektedir.

Temel yapı şekil 2.7 'de gösterilmektedir. İstemci kablosuz mesh ağları da, ağdaki bir düğüm için yola çıkmış olan bir paket hedefe ulaşabilmek için çoklu düğümler arasında sekmeler yapar.

İstemci kablosuz mesh ağları genelde cihazlardaki tek tür radyolar kullanılarak oluşturulurlar. Ayrıca, son-kullanıcı cihazlardaki ihtiyaçlar altyapı mesh sistemi ile kıyaslandığında artar. Çünkü istemci kablosuz mesh ağları da son kullanıcıları yönlendirme ve kendini-konumlandırma gibi ek fonksiyonları yerine getirmek zorundadırlar.

- Hibrit kablosuz mesh ağları



Şekil 2.8. Hibrit kablosuz mesh ağları

Bu yapı Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi altyapı ve istemci mesh sistemini birleşimdir. Mesh istemcileri ağa diğer mesh istemcileri ile birlikte geçebilmelerinin yanı sıra mesh yönlendiricileri aracılığıyla da erişebilirler.

Altyapı internet, Wi-Fi, WiMAX, hücre ve sensor ağları gibi diğer ağlara bağlantıyı sağlarken, istemcilerin yönlendirme kabiliyetleri kablosuz mesh ağları içerisinde gelişmiş bağlantı ve kapsama sağlamaktadır [32].

3. MANET AĞLARDA MULTICAST YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Bu bölümde kablosuz mesh ağlarında multicast yönlendirme algoritmaları ve protokollerinden bahsedilecektir.

3.1. Yönlendirme Algoritmaları

İki nokta arasındaki yolu bulmak için birçok yönlendirme algoritmaları [33, 37] geliştirilmiştir. Bilgisayar ağlarında ise bu sorunu çözmek için iki temel algoritma vardır. Bu bölümde günümüzde internet ağları ve genel olarak yönlendirme protokollerinde kullanılan *En Kısa Yol* algoritması ve *Minimum Maliyet* algoritmasından bahsedilmektedir.

3.1.1. En kısa yol algoritması

Temel problem: Bir grafikte A noktasından B noktasına “en iyi” yolu bulmaktır. “En iyi”yi bulmak için basit bir şekilde bir yolun kenar uzunluklarının miktarı olarak ölçülür. Örneğin; grafik, arakesitleri düşeyler olarak, yol bölütlerini kenar olarak temsil eden bir harita olabilir. Evden internet bağlantı paylaşımına (Internet Connection Sharing – ICS) giden en kısa veya en hızlı yolu bulmak istenebilir. Her iki problemin de farklı çözüm yollarının olmasına rağmen, ikisi de en kısa yol problemleridir; birincisinde, bir kenarın uzunluğu yolun bir bölütünün gerçek kilometre değerine denk gelir. Diğerinde ise, yolun mesafesinin zaman cinsinden değerine denk gelir. Ancak her iki durumda da önemli nokta bireysel kenarların uzunluklarının eklenerek ölçülmesidir [33, 34].

En Kısa Yol Ağaçları'nın (Shortest Path Trees –SPT) amacı vericiden alıcıya olan mesafeyi en aza indirmektir. Bir Steiner ağacının toplam maliyeti, Steiner ağacının tanımıyla, karşılıklı bir SPT'nin maliyetinden daha azdır. Ancak, bir Steiner ağacındaki bir verici ile herhangi bir alıcı arasındaki maksimum mesafe tipik olarak bir SPT ağacındakinden daha uzundur. Bu bir Steiner ağacındaki ortalama yol uzunluğu bir SPT ağacındakinden daha fazladır. Dağıtımli bir tarzda Steiner ağacını

hesaplamanın karmaşıklığından dolayı, bugün internette kullanılan multicast yönlendirme protokollerinin büyük bir çoğunluğu Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP) [35] ve Multicast Open Shortest Path First (MOSPF) [36] SPT ağaçlar üzerine kuruludur. Bunun nedeni, SPT ağaçlarının uygulanmasının kolay olması ve vericiden her bir alıcıya minimum gecikme ve gerçek hayatta kullanılan multicast uygulamalarının çoğu için istenilen kalitede hizmet parametresi sunmasıdır.

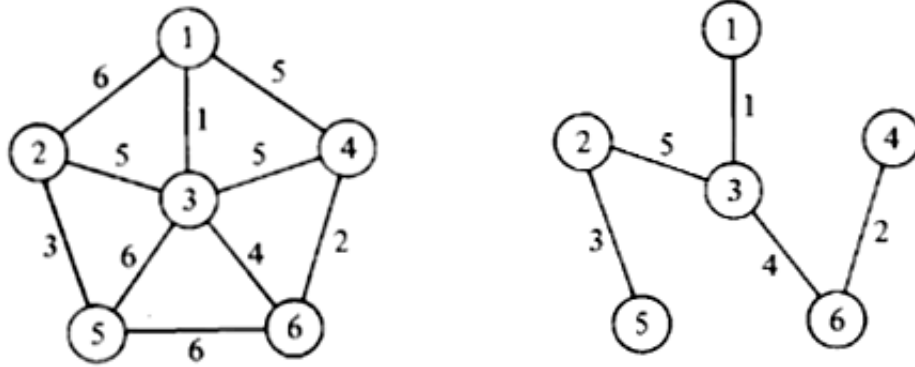
SPT ağaçlarının diğer algoritmalara karşı bazı avantajları vardır. Mesh yönlendiricileri durağan olmalarına rağmen, cep telefonları, PDA'lar ve dizüstü bilgisayarları gibi son yönlendiricilere bağlı mesh sunucuları bir son yönlendiriciden diğerine gidebilir ve istediği gibi, bir multicast oturumuna katılabilir ya da multicast oturumunu terk edebilir.

3.1.2. Minimum maliyetli ağaçlar

Bağlantılı, yönsüz bir grafik verilen, o grafiğin kapsayan ağacı bir ağaç olan ve bütün düşeyleri birbirine bağlayan bir alt grafikdir. Tek bir grafiğin birçok farklı kapsayan ağacı olabilir. Ayrıca, her kenara, ne kadar tercih edilmez olduğunu belirleyen bir numara olan bir ağırlık atayabilir, o kapsayan ağaçtaki kenarların ağırlıklarının miktarını hesaplamak suretiyle, kapsayan bir ağaca bir ağırlık atamak için kullanabilmektedir. Bir Minimum Kapsayan Ağaç ya da Minimum Ağırlık Kapsayan Ağaç, o zaman diğer her kapsayan ağacın ağırlığına eşit ya da ağırlığından daha az bir ağırlık değerine sahip olan bir kapsayan ağaçtır [33, 34]. Daha genelleyecek olursak, herhangi bir yönsüz grafik (bağlantılı olması gerekmez), bağlı bileşenleri için minimum kapsayan ağaçların bir birleşimi olan bir Minimum Kapsayan Ormana sahiptir.

Minimum Maliyetli Ağaçlar (Minimum Cost Trees-MCT) [33, 36] algoritmalarının amacı, multicast ağacının tüm maliyetini en aza indirmektir. Multicast yönlendirmesi için olan MCT algoritmaları NP-tam olan minimum Steiner ağaç problemi esasına dayanmaktadır. Bu yüzden, birkaç buluş yaklaşık Steiner ağaçlarını

hesaplamak için öne sürüldü. Şekil 3.1’de minimum maliyetli ağaç yapısına bir örnek verilmektedir.



Şekil 3.1. Düzlemsel bir grafik için minimum kapsayan ağaç. Her kenar ağırlığıyla etiketlendi ki burada uzunluğuna neredeyse eşittir

Ruiz ve Gomez S., Kablosuz mesh ağları [39] gibi düğümlerin durağan olduğu kablosuz çok sekmeli ağlardaki multicast yönlendirme problemini incelediler. Yazarlar bir MCT ağacının maliyetini, bir yayın ortamında verilen bir düğümden herhangi sayıdaki komşularına multicast veri paketinin gönderiminin tek bir veri iletimiyle yapılabileceği gerçeğinden yola çıkarak yeniden tanımlamaktadırlar. Bu yüzden, kablosuz birçok sekmeli ağda, minimum maliyet ağacı, geleneksel *Minimum Steiner Ağaçları* (Minimum Steiner Trees-MSTs) için tanımlandığı gibi minimum kenar maliyetinden ziyade kaynakları ve alıcıları minimum iletim sayısı belirterek bağlar. Başka bir deyişle, ağaç multicast iletim düğümlerinden minimum sayıda içermektedir.

3.2. Multicast Yönlendirme Protokollerin Sınıflandırması

Kablolu ağlar için birçok multicast yönlendirme algoritması geliştirilmiştir. DVMRP, PIM-DM [40] ve MOSPF, kaynaktan köklenen yayılan ağaçlar kullanarak iletim yapmaktadır[41]. PIM-VM, MOSPF de birçok multicast ağda kullanılmaktadır.

Diğer bir multicast dağıtım tekniği her grup için tek bir yayılan ağaç kullanılmasıdır. CBT ve PIM-SM algoritmaları bu tekniği kullanmaktadır. Bu teknikte çekirdek düğümü veya buluşma noktası (Rendezvous Point- RV point) adı verilen bir düğüm seçilir ve yayılan ağaç bu düğümden köklenmektedir. Multicast paketler önce çekirdek düğüme gönderilmektedir, çekirdek düğümden köklenen yayılan ağaç vasıtası ile de tüm gruba dağıtılmaktadır.

Kablolu ağlar için geliştirilmiş multicast yönlendirme protokolleri kablosuz ad-hoc ağlarda doğrudan kullanım için uygun olmamaktadır. Ancak düzenleme ve eklentileriyle bu protokoller MANET ağlar için uygun hale getirilebilmektedir.

Kablosuz ağlarda birçok multicast yönlendirme vardır. Bu yönlendirme protokolleri farklı farklı sınıflar altında yer almaktadır. Bu sınıflandırmalarla ilgili birçok kaynakta vardır [43, 44]. Bir kısmı multicast yönlendirme protokollerinin işlevine göre sınıflandırmaktadır. Bir kısmı da bu protokollerin dağıtım yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır.

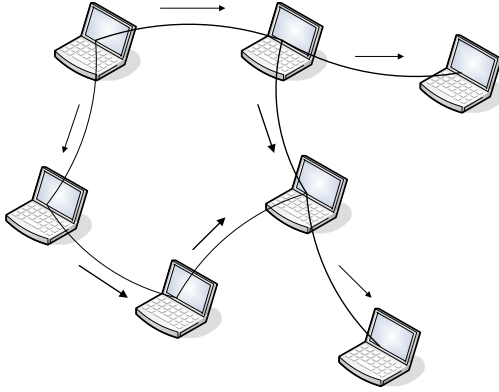
Multicast yönlendirme protokollerinin işlevine göre *Ağaç-Tabanlı* ve *Mesh-Tabanlı* olmak üzere iki kategori altında sınıflandırılmaktadır. *Ağaç-Tabanlı* multicast yönlendirme protokolleri, paketlerin kaynaktan hedefe doğru akışını sağlayıp onarmaktadır. *Mesh-Tabanlı* ise, multicast yönlendirme protokolleri ağdaki bütün multicast grubundaki düğümlerin birbirine bağlı olmasıdır.

İkinci sınıflandırma ise kablosuz ağlarda multicast yönlendirme protokollerini multicast dağıtım yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu tür sınıflandırmanın dağıtım biçimi aşağıda sıralanmaktadır.

3.2.1. Sel

Bu yöntemde özel bir yapı kurulmamaktadır. Multicast paket sel (flooding) yöntemiyle basitçe tüm ağda yayılmaktadır. Bu yöntem yoğun hareket eden ağlarda verimli olsa da gereksiz iletim ve veri tekrarı ile verimlilik düşebilmektedir. Kaynak

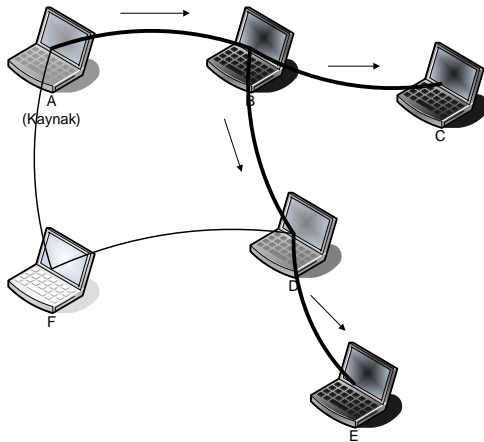
düğümü paketi komşularına gönderir. Daha sonra her komşu aldığı paketi kendi komşularına iletir. Bu şekilde paket tüm ağa yayılır.



Şekil 3.2. Sel yönlendirme algoritması

3.2.2. Kaynak tabanlı multicast ağaçlar

Bu yöntemde her multicast grupta, her multicast gönderici için göndericiden köklenen bir yayılan ağaç oluşturulmaktadır [41]. Bir multicast ağda, multicast grup sayısı G , her gruptaki multicast gönderici sayısı S varsayalım; $G \times S$ adet multicast ağaç oluşturulmaktadır. Bu yöntemin avantajı ise her paketin en uygun yol üzerinden dağıtılabilesidir. Bu yöntemde örnek olarak DVMRP, MOSPF ve PIM-DM verilebilir.



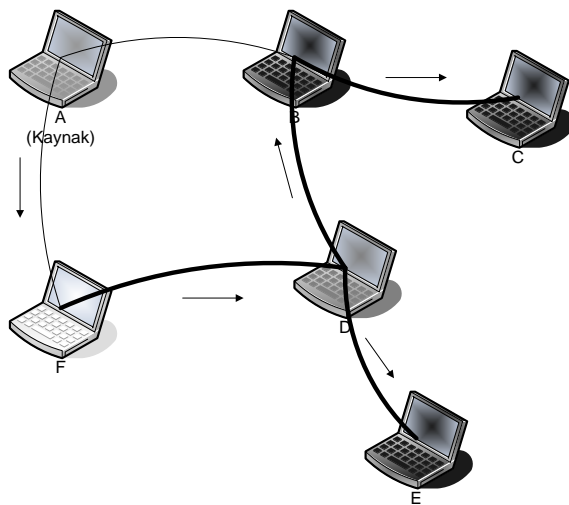
Şekil 3.3. Kaynak tabanlı multicast ağacı

Şekil 3.3'te kaynak tabanlı ağaç (Source Based Tree–SBT) yaklaşımı göstermektedir. A düğümü göndericidir ve B, C, E düğümlerinin ait olduğu multicast gruba bir paket gönderilmektedir. D düğümü, gruba dâhil olmadığı halde, E düğümüne ulaşabilen yol üzerinde olduğu için iletici görevi üstlenmektedir.

3.2.3. Çekirdek tabanlı ağaçlar

Bu yöntemde her bir multicast grup için tek bir yayılan ağaç kullanılmaktadır. Her bir multicast grupta bir lider düğüm seçilmekte ve çekirdek düğüm olarak adlandırılmaktadır. Çekirdek düğüm multicast yayılan ağacı oluşturmak ve düzenlemekte görevlidir.

Şekil 3.4.'te Çekirdek Tabanlı Ağaç (Core Based Tree-CBT) yaklaşımı gösterilmiştir. A düğümü göndericidir ve B, C, E düğümlerinin ait olduğu multicast gruba bir paket gönderilmektedir. Grubun çekirdek düğümü F'dir. F düğümü kendisinden köklenen ve tüm gruba ulaşan bir yayılan ağaç oluşturmakta ve yönetmektedir. A düğümü, gruba göndereceği paketi F düğümüne gönderir, F düğümü ise mesajı yayılan ağaç yardımıyla yayar. D düğümü, gruba dâhil olmadığı halde, diğer düğümlere ulaşabilen yol üzerinde olduğu için iletici görevi üstlenmektedir.



Şekil 3.4. Çekirdek tabanlı ağacı

Yayılan ağaç tek yönelimli (unidirectional) veya çift yönelimli (bidirectional) olabilmektedir. Tek yönelimli ağaçlarda, çekirdek düğüm tarafından gönderilen multicast paketler ağaç üzerinde ayrılarak tüm düğümlere ulaşabilmektedir. Çift yönelimli ağaçlarda ise multicast paketler ağaca herhangi bir noktadan girebilmekte ve tüm düğümlere yayılabilmektedir. Bu yöntemin bir dezavantajı ise ortak yolların yoğun olarak kullanılmasıdır.

3.3. Multicast Yönlendirme Protokolleri

Bu bölümde kablolu ve kablosuz ağlarda günümüzde kullanılan bazı multicast yönlendirme protokollerinden bahsedilmektedir. Kablolu ağlar olarak (DVMRP), kablosuz ağlara (MAODV, CAMP, ODMRP, LBM ve PUMA) multicast yönlendirme protokollerinden bahsedilecektir.

3.3.1. DVMRP yönlendirme protokolü

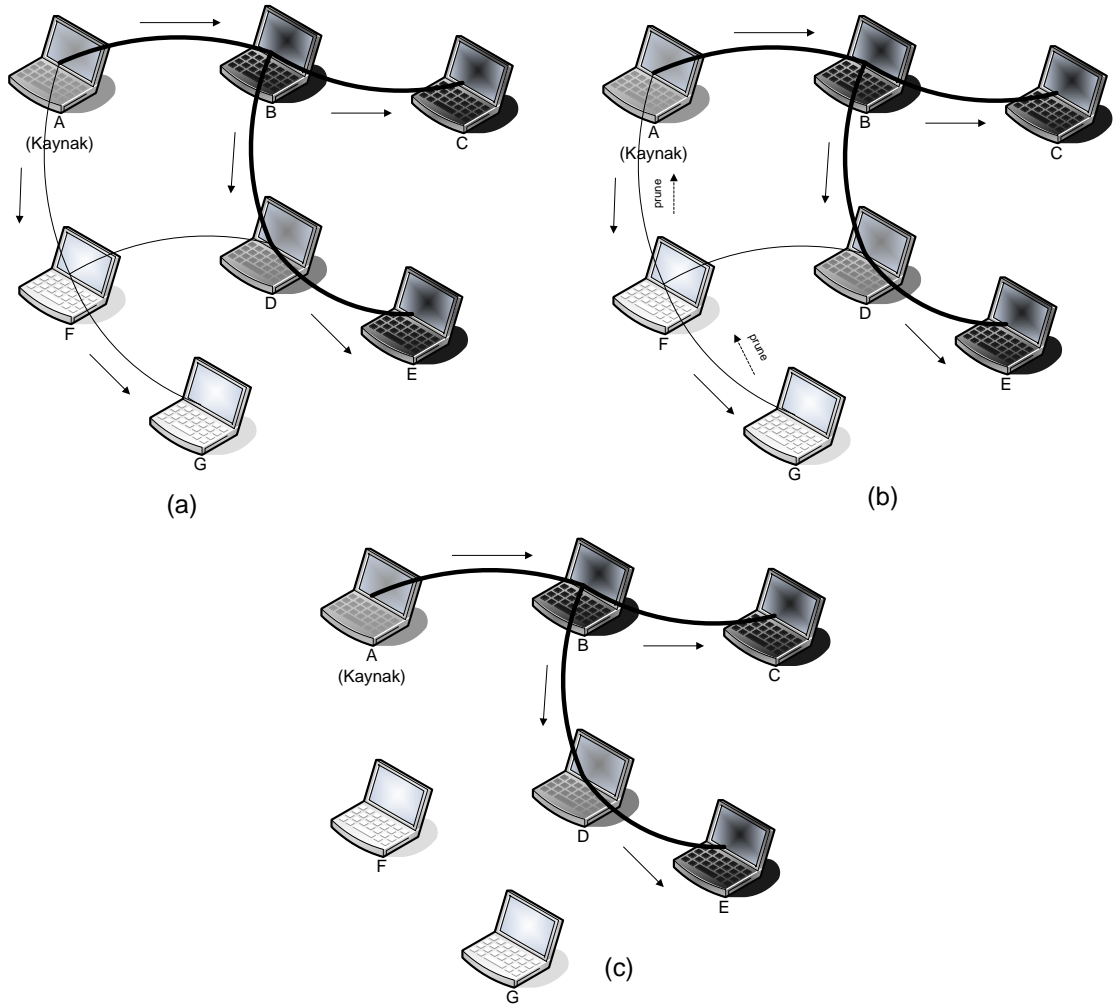
DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) [35], kaynaktan köklenen multicast ağaç yaklaşımıyla çalışmaktadır. Kablolu multicast ağlar için tasarlanmış ve daha sonra kablosuz ad-hoc ağlar için bazı eklentilerle geliştirilmiştir:

- Yaprak düğüm ün bulması
- Dinamik aşılama / budama
- Paket klonlama kontrolü

DVMRP, kaynaktan köklenen multicast dağıtım ağacı yaklaşımı ile geliştirilmiştir.

Ağaç oluşturulması sırasında önce tüm ağda sel olur. Ters yol iletimi (Reverse Path Forwarding-RPF) algoritması kullanılarak düğümlerin sadece en erken gelen paketleri iletmesi sağlanmaktadır. Daha sonra multicast grupta olmayan uç düğümler bir üst göndericilerine budama mesajı göndererek bağlantılarının kesilmesini sağlamaktadırlar. Multicast grupta bulunmayan yönlendirici düğümler de eğer tüm uç düğümler budama edilmişse, budama mesajı göndererek kendilerinin de ağaçtan

çıkartılmalarını sağlamaktadırlar. Sel ve budama-kapatma işlemleri tamamlandığında, multicast göndericiden kökenlenen ve tüm multicast gruba ulaşan bir en uygun yayılan ağaç elde edilmektedir.



Şekil 3.5. DVMRP ağaç oluşturma mekanizması

a) sel işlemi.

b) multicast alıcı olmayan düğümler "budama" mesajı gönderir

c) ilgili olmayan düğümlerin kesilmesi ile oluşan multicast ağacı

Ad-hoc ağların dinamik yapısından dolayı, kablolu ağlardan farklı olarak bir düğümün yaprak düğümü olup olmadığını bilmesi zorlaşmaktadır. Bu problemi aşmak için ise komşu düğümler arasında yönlendirme tablosu alış-verişi yapılmaktadır. Böylece her bir düğüm yaprak düğümü olup olmadığını kolayca kavrayabilecek ve budama işlemlerini doğru gerçekleştirebilecektir.

Ağa yeni istemcilerin eklenebilmesi için sel işlemi periyodik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumda ağa yeni katılmak isteyen istemci bir dahaki periyodik sel işlemini beklemek zorunda kalacaktır. Bu durumda oluşacak gecikmeyi önlemek için yeni istemci budama mesajı göndererek bağlantı kurulmasını isteyebilmektedir.

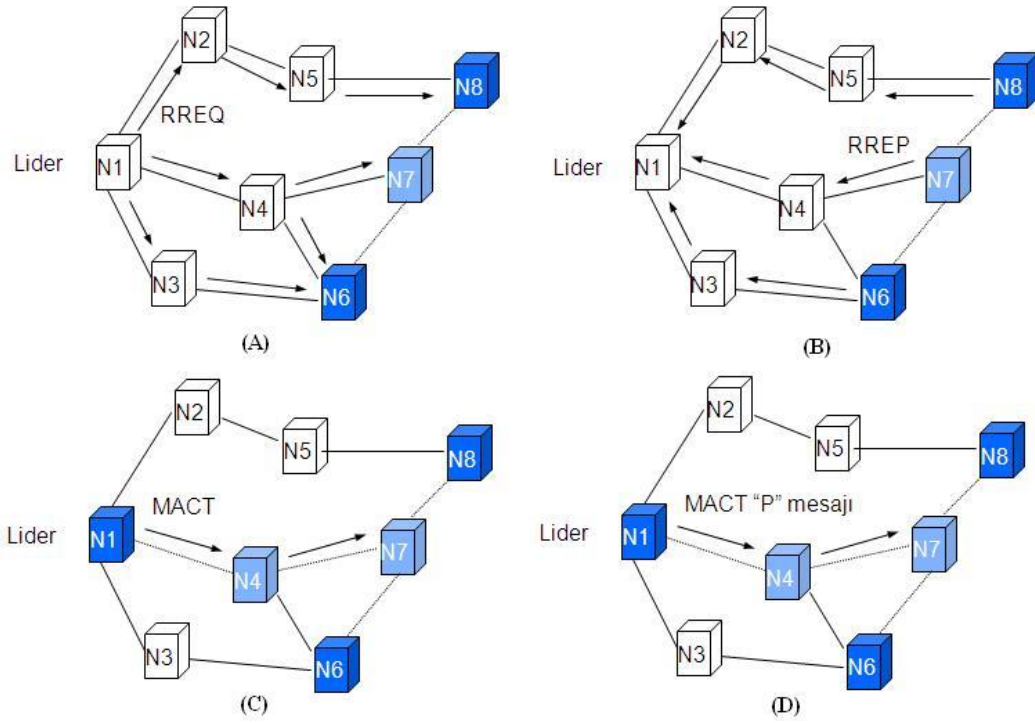
Ad-hoc ağların hızlı değişen yapısına adapte olarak multicast ağacı oluşturma işlemini hızlandırmak amacıyla DVMRP'ye dinamik aşılama/budalam eklentisi geliştirilmiştir.

DVMRP 'de sadece dinamik budama işlemi ile yeni düğüm eklenmesi sırasında hızlandırma sağlanmaktadır. Dinamik aşılama/budalam ile ise bir düğüm eğer kendi bağlantısından daha hızlı bir bağlantı tespit ederse şimdiki bağlantısına aşılama mesajı göndererek yakın olan diğer düğüme budama mesajı gönderebilmektedir. Şekil 3.5'te DVMRP protokolünün işlemini göstermektedir.

3.3.2. MAODV yönlendirme protokolü

MAODV (Multicast Ad-Hoc On Demand Distance Vector) [1], her bir multicast grup için tek bir multicast ağaç kullanarak çalışmaktadır. Multicast grup için bir lider düğüm seçilmektedir. Gruba bir sıra numarası verilmektedir ve bu numara grup lideri tarafından değiştirilebilmekte ve ağa broadcast edilmektedir. Bir multicast gruba ilk multicast mesajı gönderen düğüm otomatik olarak grup lideri olmaktadır. Daha sonra yeni düğümler eklendikçe multicast ağaç dinamik olarak oluşturulur.

Multicast gruba katılmak isteyen düğüm bir katılma isteği broadcast etmektedir. İstek mesajı bir grup üyesine ulaştığında geçici bir rota oluşturulmakta ve bir cevap gönderilmektedir. Daha sonra düğüm gelen cevapları değerlendirerek en iyi yolu seçerek bir aktiveleştirme mesajı göndermektedir, diğer geçici rotalar ise zaman aşımı sonucunda kaldırılmaktadır. Multicast gruptan ayrılmak isteyen düğüm basitçe budama mesajı göndermektedir. Şekil 3.6'da MAODV protokolünde düğümlerin ağaca katılma sürecini göstermektedir.



Şekil 3.6. MAODV protokolü

- (a) Gruba girmek
- (b) RREQ paketinin kaynağa doğru çizdiği yol
- (c) Yol aktivasyonu
- (d) Gruptan çıkmak

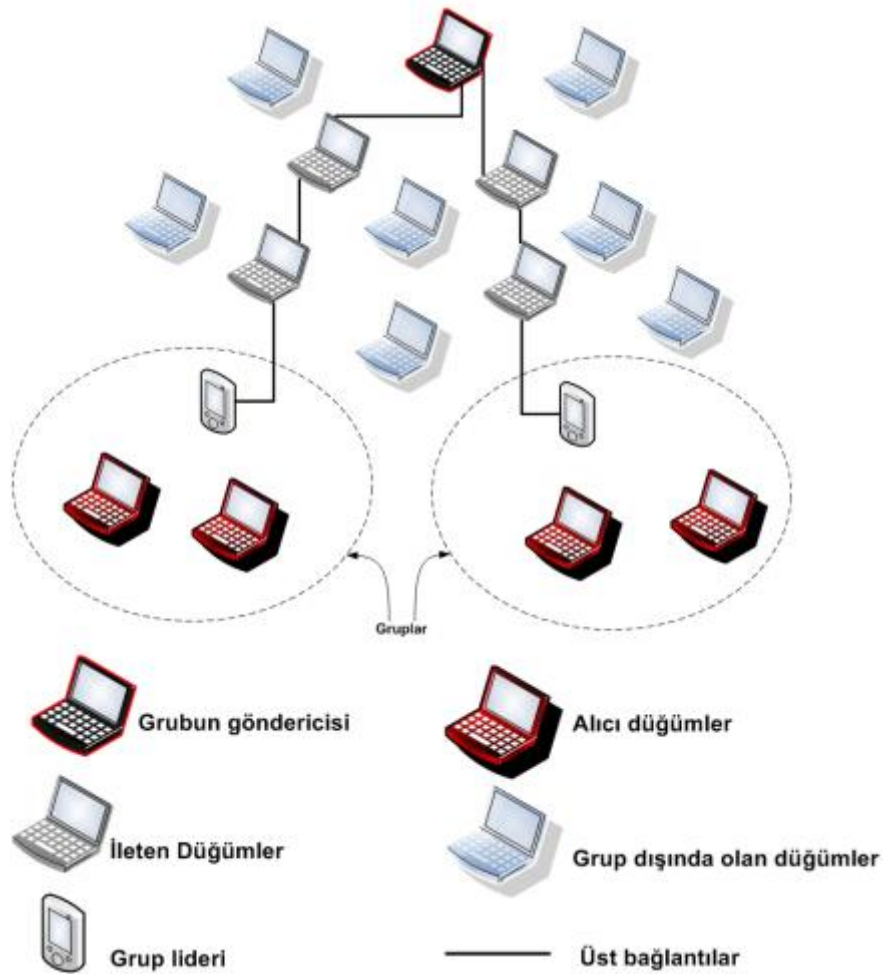
Bir düğüm ağdan koptuğunda daha önce açıklandığı gibi ağa katılma işlemlerini tekrar gerçekleştirmektedir. Eğer katılma isteğine cevap gelmezse, katılmak isteyen düğüm kendisini yeni grup lideri ilan etmektedir. Rutin broadcast işlemleri ile eğer aynı broadcast gruba ait farklı iki lider düğüm fark edilirse, aynı gruba ait iki farklı alt ağaç oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda, ağaçların numaralarına bakılarak seçim yapılır ve düşük numaralı lider düğüm, diğer ağaca katılmak için başvurur.

3.3.3. CAMP yönlendirme protokolü

CAMP (Core-Assisted Mesh Protocol)[3] protokolü, multicast mesh mimarisi kullanmaktadır. Multicast gruplara katılma işlemlerini yürütmek için çekirdek düğümler atanmaktadır. Mesh mimarisi dolayısıyla bir bağlantı koptuğunda alternatif

3.3.4. ODMRP yönlendirme protokolü

İsteğe Bağlı Multicast Yönlendirme (On-Demand Multicast Routing Protocol-ODMRP) [4] protokolü, bir iletim grubu üzerinden sel yaklaşımı kullanmaktadır. İletim grubu, her bir multicast grup için, tüm düğümlere ulaşabilecek şekilde düzenlenmektedir. Şekil 3.8’de ODMRP protokolünün çalışma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 3.8. ODMRP protokolünün çalışma mekanizması

Bir düğüm, bir multicast paket göndermek istediğinde JOIN-REQUEST mesajı yayımlamaktadır. JOIN-REQUEST mesajını alan her düğüm, unicast yönlendirme tablolarını güncelleyerek göndericiye ait yolu eklemektedirler. Bir multicast alıcı

JOIN-REQUEST mesajını aldığıında, kendi üyelik tablosunu güncellemekte ve periyodik JOIN-TABLE mesajları göndermeye başlamaktadır.

JOIN-TABLE mesajında, o düğüm için tüm multicast göndericiler ve her bir gönderici için sonraki düğüm yer almaktadır. JOIN-TABLE mesajını alan, sonraki düğüm olarak belirlenmiş düğümler iletim grubuna dâhil olmakta ve kendi JOIN-TABLE'larını yaymaya başlamaktadırlar. JOIN-TABLE bilgileri gönderici düğümlere ulaştığında ise tüm alıcılara ulaşılmış ve iletim grubu oluşturulmuş olmaktadır.

Yönetim mesajlarının periyodik olarak gönderilmesi ağ bağlantılarının devamlılığını sağlamaktadır. Bir zamanaşımı mekanizması ile de eski düğümler elenerek yönlendirme bilgisinin tazeliği sağlanmaktadır. Ayrıca oluşturulmuş mesh yapısı ve kopan bağlantıların yerine alternatiflerinin bulunma olasılığı da ek bir geliştirme olarak görülebilir.

3.3.5. LBM yönlendirme protokolü

Yer Tabanlı Multicast (Location Based Multicast - LBM) protokolü [45], multicast yönlendirme işleminde coğrafi yerleşim koordinatları kullanılmaktadır. Her bir istemcinin yerini GPS (Global Positioning System) teknolojisi ile saptayabildiği varsayılmaktadır. Yerleşimi koordinatlarla belirlenmiş dikdörtgen bir alan bir multicast bölge olarak adlandırılmaktadır. Multicast bölge içerisinde yer alan tüm düğümlerin multicast alıcı olduğu varsayılmaktadır. Multicast bölge içerisinde olmadığı halde multicast bölge üyeleriyle kapsama alanında bulunan düğümler bölge iletime (Forwarding Region-FR) olarak adlandırılmaktadır ve iletme yardımcı olabilmektedir.

Bir gönderici bir bölgeye mesaj göndermek istediğinde tüm ağa sel etmek yerine bir bölge tanımlama bilgisi göndermektedir. Mesajı alan istemciler yerleşim bilgilerini karşılaştırarak işlem yapmaktadır. Sadece multicast bölgesinde veya iletim bölgesinde olan düğümler paketi iletmektedir.

3.3.6. PUMA yönlendirme protokolü

Anonsla Birleştirilmiş Multicast Protokolü (Protocol Unified for Multicasting through Announcement-PUMA) [15], diğer multicast yönlendirme protokollerinden farkı, unicast yönlendirme protokolünü kullanmadan multicast grubundaki paylaşılan mesh düğümleri üzerinden yönlendirme işlemini yapmasıdır. PUMA yönlendirme protokolünde, multicast grubu içinde olan herhangi bir kaynak düğüm diğer düğümleri tanımadan multicast paketlerini gönderebilmektedir.

PUMA yönlendirme protokolü bir alıcı girişimi yaklaşımıdır. Alıcı düğümler multicast grubuna katılmak için, kaynak düğümden gruba sel yöntemini kullanmadan multicast grubuna özel bir dinamik çekirdek düğümünün adresini kullanarak katılabilmektedirler.

Çizelge 3.1. PUMA protokolünde bağımlılık listesi

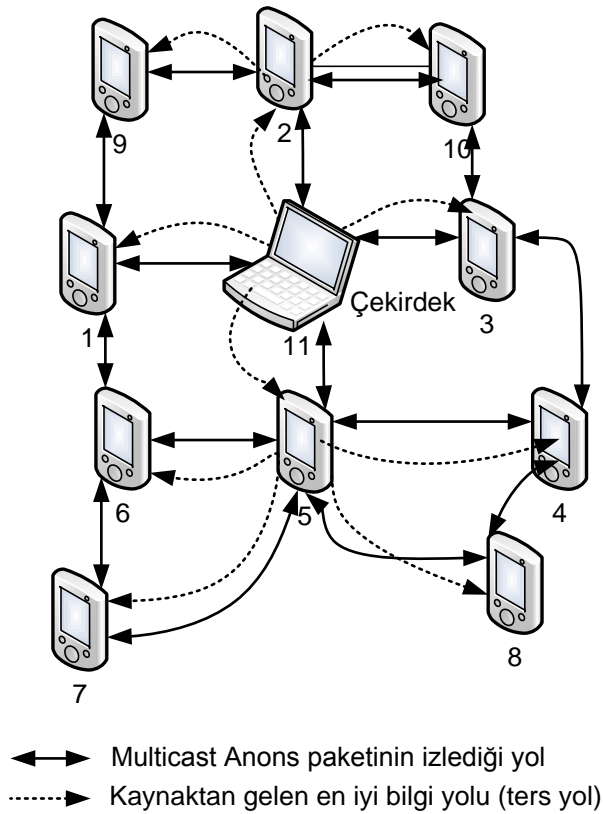
6 numaralı düğümün bağımlılık listesi			
Çekirdek ID=11, Grup ID=224.0.0.1, Sıra Numarası=79			
Komşu	Multicast Anons		Zaman
	Çekirdeğe mesafe	Kaynak	
5	1	11	12152
1	1	11	12180
7	2	5	12260

Bir alıcı düğüm bir multicast grubuna katılmak isterse, ilk olarak bu grupta daha önce multicast anons (Multicast Announcement-MA) paketini alınıp alınmadığını kontrol etmelidir. Eğer düğüm çekirdek düğümünü biliyorsa, bu düğüm MA paketini iletmeye başlar. Aksi halde kendini multicast grubunun çekirdeği olarak ilan edip MA paketini periyodik bir şekilde kendinden başlayarak komşularına doğru iletmeye başlar.

Bir düğüm komşudan alınan en iyi MA paketini yayarak diğer komşularına gönderir. Yüksek ID'si olan çekirdek düşük olan ID'nin yerini alır ve bu yüzden her multicast

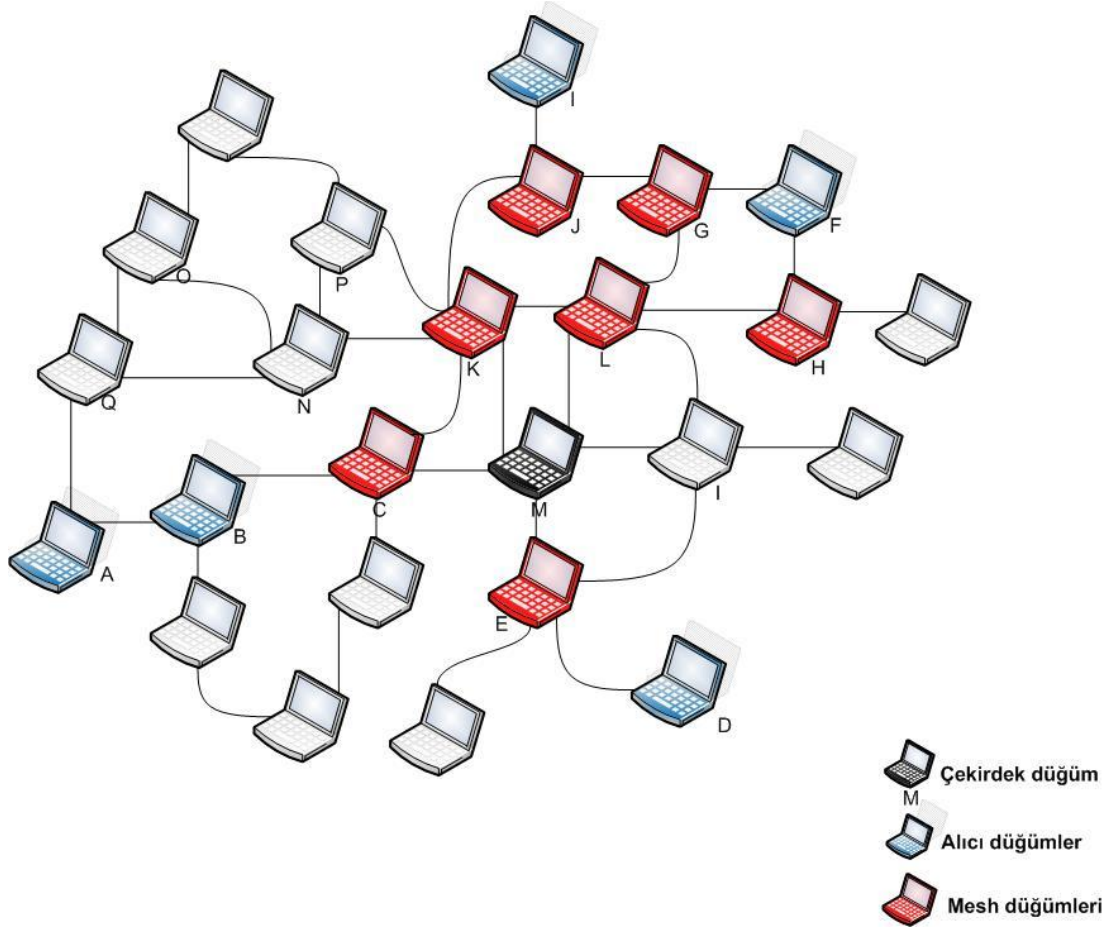
grubu için sadece bir çekirdek vardır. Eğer birden fazla alıcı düğümler gruba katılırsa, en yüksek ID'ye sahip olan düğüm multicast grubunun çekirdeği olur.

MA paketi ağı içinde yayılmaya başladıktan sonra, ağdaki her düğüm için bir bağlantı listesi kurmaya başlar. Bu bağlantı listesi mesh özelliğine sahip olan düğümlerin birbiriyle bağlantısını sağlar. Çizelge 3.1'de PUMA protokolünde 6 numaralı düğümün bağımlılık listesini göstermektedir.



Şekil 3.9. PUMA protokolünde multicast anons paketinin yayılımı

Bağlantı listesinde, her düğüm için çekirdek ID'si, grup ID'si, sıra numarası, çekirdeğe uzaklık, mesh üyesi olup olmadığı ve MA paketini yayan üst düğüm bilgileri vardır. Multicast grubunun çekirdeğine ulaşmak için birden çok yol olabilir. Ancak çekirdek değişirse, bütün düğümler bağlantı listelerini yeniden inşa etmeye çalışırlar. Şekil 3.9'da MA paketi ve yayılımını göstermektedir.



Şekil 3.10. PUMA protokolünde mesh düğümlerinin paket iletmesi

Başlangıçta, sadece multicast alıcısı bir mesh üyesi olarak kendini kabul edip MA paketini göndermeye başlar. Alıcı olmayan bir düğümün kendisini mesh üyesi olarak kabul etmesi için bağlantı listesinde en az bir mesh çocuğu olmalıdır. Bağlantı listesinde komşuların mesh çocuğu olması için:

- kendi mesh üyesinin bayrağı kalkmışsa,
- komşu düğümle çekirdek düğümünün arasındaki mesafe, düğümün kendi mesafesiyle çekirdek düğümünün arasındaki mesafeden daha uzaksa,
- bir düğümün gelen MA paketine karşılık vermesi için, zaman açısından iki MA paketinin alınmasına denk gelir. Bir düğümün mesh çocuğu varsa, bu düğüm mesh düğümdür demek. Bu nedenle düğüm en kısa yolu seçerek paketleri alıcıdan çekirdeğe doğru gönderir.

Bir MA paketi, alt düğümden bir üst düğüme iletilmektedir. Dolayısıyla, MA paketi düğümden düğüme zıplayarak mesh üyesine iletilmektedir. Sonra çekirdek düğüme ulaşana kadar paketler mesh üyeleri içinde sel şeklinde dağılmaktadır. Şekil 3.10'da (PUMA mesh ve multicast grubu içinde) paket iletim mekanizmasını göstermektedir.

N düğüme MA paketini iletmek için, düğüm O ve Q üst düğümü olarak işaretlenir. Aynı şekilde düğüm K MA paketini iletmek için, düğüm P'nin üst düğümü olarak işaretlenir. Düğüm O ve P, gönderici olarak farz edilirse, düğüm N sadece düğüm O'dan alınan paketleri iletmektedir. Çünkü sadece düğüm O, N düğümünün bir üst düğümü olarak bildirilmiştir.

Düğüm J, düğüm P'nin üst düğümü olmamasına rağmen J düğümü, P düğümünden gelen paketleri iletir J düğüme iletilen paketleri J düğümü iletir, çünkü mesh üyeleri paketleri göndermeden kendi bağlantı listelerini kontrol etmezler. Sonuç olarak düğüm I paketleri daha erken alır. PUMA'da paket kopyalama kontrolü olduğu için, alınan paketler tekrar yayılmaz.

4. GELİŞTİRİLEN MULTICAST YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

Bu bölümde, geliştirilen multicast yönlendirme protokolü, paket kaybını önlemek, tıkanıklığı ve enerji problemini azaltmak için tasarlanmıştır. Geliştirilen protokolde her düğüm bir MA paketi üretir. Komşulardan gelen MA paketinde en az kuyruk uzunluğunun olan düğüm bilgileri geçerli olur. Eğer MA paketindeki kuyruk uzunluğu aynı ise, çekirdeğe en kısa mesafeye sahip olan düğümün bilgisi geçerli olur. Eğer bu bilgilerde eşit ise, hedefe en kısa zamanda ulaşan MA paketi en iyi düğüm bilgisi olarak seçilir. En iyi MA paketi seçildikten sonra, her düğüm aşağıdaki algoritmaya göre kendi MA paketlerini üretirler.

```
While (komşulardan düğüme MA paketler geliyorsa)
{
  If (alınan MA paketinin içinde en az kuyruğu sahip olan
  düğüm varsa)
    Then (en az kuyruk yapısına sahip olan düğümü seç );
  Esle if ( eğer düğümlerin kuyruk yapıları eşit ise )
    Then (düğümlerden çekirdeğe, en kısa mesafeye sahip
    olan düğümü seç );
  Else if (düğümlerden çekirdek düğüme mesafeler eşit ise)
    Then (en kısa zamanda ulaşan MA paketi gönderen
    komşuyu seç);
}
```

Önerilen protokol orijinal PUMA [15] protokolü kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol ile PUMA protokolündeki paket kaybını azaltarak ve tıkanıklığı önleyerek verimli bir kuyruk yapısı önerilmiştir. Önerilen protokol EQ-PUMA (Efficient Queue)olarak adlandırılmıştır. EQ-PUMA protokolü mesh tabanlı bir protokol olup IP multicast servis modelini destekler.

EQ-PUMA'da her hangi bir kaynak düğüm multicast grubuna multicast paketini gönderebilir. Bir paketin gönderilmesi için, kaynak düğüm multicast grubuna

katılmak zorunda değildir. EQ-PUMA protokolü, PUMA protokolüne benzer bir şekilde, her hangi bir alıcının multicast grubuna katılması için, özel bir düğüm adresini kullanarak katılabilir.

EQ-PUMA protokolünde, çekirdek düğümü seçmek için Perlman [46] tarafından sunulan dağıtım algoritması kullanarak çekirdek düğüm seçilir. Dağıtım algoritmasının görevi, alıcı düğümlerinden birini multicast grubunun çekirdek düğümünü seçmek, çekirdeğin seçildiğine dair multicast grubundaki diğer düğümlere bildirmektir. Her bir alıcı, en kısa yol üzerinden mesh düğümlerini kullanarak çekirdek düğüme bağlanabilirler. Gönderici gruba bir paket gönderir, gönderici düğümle çekirdek düğümünün arasındaki kısa yolu kullanarak, gönderici paketi multicast grubuna gönderir. Paket mesh düğümlerine varınca, mesh düğümlerinin arasında dağıtılır. Sonra paket çekirdek düğümüne ulaştıktan sonra, çekirdek düğüm alınan paketi mesh düğümleri üzerinden en iyi yolu izleyerek diğer alıcılara gönderir.

EQ-PUMA protokolünde ağın kurulması için, tek kontrol mesajı kullanılır. Bu kontrol mesajına MA (Multicast Announcement) paketi denir. Her bir MA paketi için, sıra numarasını, grup adresini, çekirdek ID'sini, düğümün çekirdeğe mesafesini, mesh bayrağının durumunu ve hangi komşudan aldığı en iyi MA paketini belirler. Düğümler, MA paketi içinden topladığı bilgilere göre, çekirdek düğümünü seçebilir. Gruba paket göndermek için multicast grubu dışındaki kaynak düğümlere olan yolları bilir, mesh düğümlerinin gruba girmeleri veya gruptan çıkmalarını bildirip aynı zamanda mesh düğümlerini onarabilir.

Bağımlılık Listesi ve MA paketinin yayılması

Multicast grubundaki çekirdek düğüm seçildikten sonra, çekirdek düğümü MA paketini belli aralıklar arasında multicast grubuna yaymaya başlar. MA paketi ağın içinde gezerken, gittiği her düğüm için bir bağlantı listesi oluşturur. Düğümler bağlantı listesini kullanarak, mesh düğümlerinin oluşturmasına ve paketlerin alıcılara ulaştırılması için yol bulmasına yardımcı olur.

Düğümün komşularından aldığı bütün MA paketindeki bilgileri bağlantı listesinde tutar. Yeni MA paketinin sıra numarası, eski MA paketinin içeriğini güncelleyip yeni bir sıra numarası verir. Her düğümün komşusundan aldığı bir bağlantı listesi var ve bu listenin içeriğini en güncelli sıra numarasıyla tutar.

Her bağlantı listesinin içerisinde, MA paketinin bilgileri artı MA paketinin alındığı zaman ve hangi komşudan aldığı kayda tutmaktadır. Sonra düğüm kendi bağlantı listesinden en iyi içeriği kullanarak kendi MA paketini üretmektedir.

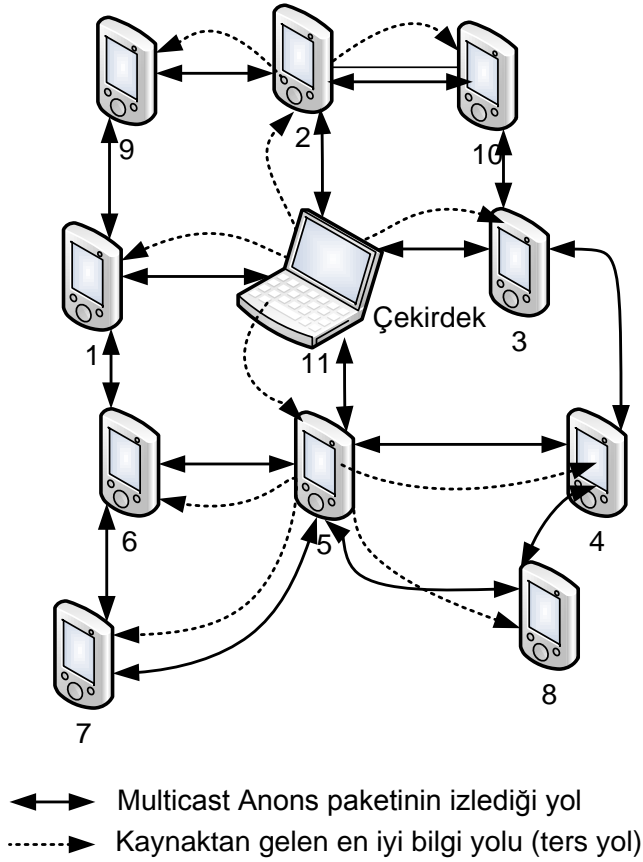
Bir düğümün MA paketi üretmesi için, komşulardan gelen MA paketinde en az kuyruğu dolu olan düğüm bilgileri geçerli olur. Eğer MA paketindeki kuyruk yapısı aynı ise, çekirdeğe en kısa mesafeye sahip olan düğümün bilgisi geçerli olur. Eğer bu bilgilerde eşit ise, en kısa zamanda ulaşan MA paketi en iyi düğüm bilgisi olarak seçilir. En iyi MA içeriğin seçildikten sonra, her düğüm aşağıdaki gibi kendi MA paketlerini üretirler.

- Çekirdek ID'si: grubun çekirdek düğümünün ID'si.
- Grup ID'si: multicast grubun ID'si.
- Sıra Numarası: MA paketindeki en iyi sıra numarası.
- Çekirdeğe Uzaklık: eski uzaklık artı bir eklenmesi.
- Komşu: en iyi MA paketini gönderen komşunun ID'si.
- Mesh Üyeliği: çekirdek düğümüne yakın olan düğümlerin mesh bayrağının kalkıp kalkmaması.
- Kuyruk Yapısı: en iyi MA paketini gönderen düğümün kuyruk yapısı.

Bağlantı listesi bir yol ya da birden fazla yol bilgilerinin kaydını tutar. Çekirdek düğümün değişme durumu olduğu zaman düğümler bağlantı listesinin içeriğini silip, yeni seçilen çekirdeğe göre bağlantı listesinin içeriğini yeniden doldururlar. Çizelge 4.1'de MA paketinin yayılımı ve bağlantı listesinin oluşturulmasını göstermektedir.

Çizelge 4.1. EQ-PUMA protokolünde bağımlılık listesi

6 numaralı düğümün bağımlılık listesi				
Çekirdek ID=11, Grup ID=224.0.0.1, Sıra Numarası=79				
Komşu	Multicast Anons			Zaman
	Kuyruk yapısı	Çekirdeğe mesafe	Kaynak	
5	22	1	11	11147
1	35	1	11	11175
7	29	2	5	11258



Şekil 4.1. EQ-PUMA protokolünde multicast anons paketinin yayılımı

Şekilde 4.1’de düğüm 6 için, düğüm 5, 1 ve 7 komşu düğümlerdir. Düğüm 6, komşularından topladığı bilgilere göre kendi bağlantı listesini kurar. Sonra düğüm 6, düğüm 5’in bilgilerini en iyi bilgi olarak seçer. Çünkü düğüm 5’in 5’in kuyruk yapısı diğer düğümlere göre daha az dolu ve aynı zamanda düğüm 6’ya, düğüm 1 ve 7’den daha erken ulaşır. Sonra düğüm 6, düğüm 5’in içeriğini kullanarak kendi MA

paketini üretir. Üretilen MA paketinin içeriği, Çekirdek ID=11, Grup ID=224.0.0.1, Sıra Numarası=79, Çekirdeğe Uzaklık=2 ve Komşu=5, şeklinde olur. Eğer A düğümü, multicast düğümüne paket göndermek isterse, A düğümüne komşularından gelen en iyi MA paketini kullanarak multicast paketini gönderir.

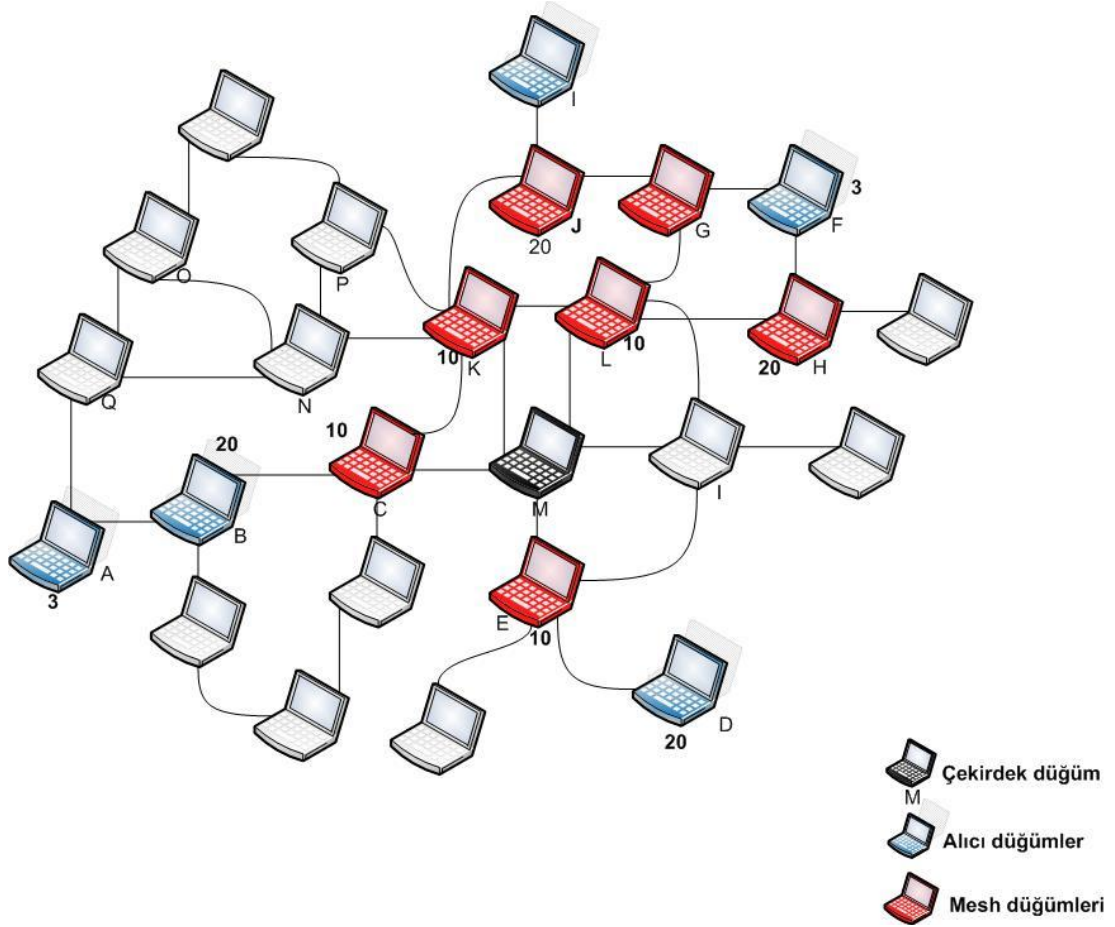
MA paketi, çekirdek düğümü tarafından her üç saniyede bir üretilir. Düğüm MA paketini aldıktan sonra, komşu düğümlerden diğer MA paketlerini toplamak için (100 ms) bekler, sonra kendi MA paketini üretip diğer düğümlere göndermeye başlar.

Mesh düğümlerin kurulması

Ağ kurulurken sadece alıcılar kendilerini mesh üyesi olarak kayda tutup, gönderdikleri MA paketinin içinde mesh bayrağını (TRUE)'ye çevirir. Gönderici-olamayan düğümlerin bağlantı listelerinden az bir mesh çocuğu varsa, kendilerini de mesh üyesi olarak seçerler. Bağlantı listesindeki komşu bir mesh çocuğudur eğer:

- Mesh bayrağı kalkmışsa.
- Düğümün çekirdeğe mesafesi, komşunun çekirdeğe mesafesinden daha yakınsa.
- Gönderilen MA paketi, iki MA paketin alma zamanına eşittir.

Şekil 4.2'de, EQ-PUMA protokolünde mesh üyelerinin kurulmasını göstermektedir. Şekilde düğüm M, multicast grubunun çekirdeği olarak seçilmiştir. Düğüm I, F, A, B, D ve M alıcı olarak, kendi MA paketleri içinde mesh bayraklarını kaldırmışlardır. Düğüm H, F ve G, MA paketini aldıktan sonra, kendilerini mesh üyesi olarak kabul ederler. Düğüm F, düğüm H ve G için mesh çocuğu olarak seçilir, çünkü kuyruk yapısı 30'dur ve bu da diğerlerinin kuyruk yapılarından (kuyruk yapıları 20'dir) daha büyüktür. Buna benzer bir şekilde düğüm J, K, L, C ve E, kendilerini mesh üyesi olarak kabul ederler. Sonuç olarak F alıcı düğümünden, M çekirdek düğümüne iki yol (30) olarak çizilmiştir. F-G-L-M ve F-H-L-M, aynı zamanda bu iki yol mesh düğümünün bir parçasıdır.



Şekil 4.2. EQ-PUMA protokolünde mesh düğümlerinin kurulması

Çekirdek düğümünün Seçilmesi

Bir düğüm multicast grubuna girmek isterse, önceden grupta MA paketini alıp almadığını kontrol eder. Eğer almışsa, kendini multicast grubunun çekirdeğine benimseyerek MA paketini alır. Sonra kendi MA paketini üretip komşularına göndermeye başlar. Aksi takdirde eğer grupta daha önce bir çekirdek düğümü seçilmemişse, kendini çekirdek olarak seçip sonra MA paketini kendinden başlayarak komşularına göndermeye başlar.

Düğümde en iyi MA paket içeriğini kullanarak kendi MA paketlerini üretirler. Eğer iki alıcı multicast grubunun çekirdeği olmak isterse, alıcı düğümlerinin hangisi diğerinden daha erken gruba girmişse, o düğüm multicast grubu çekirdeği olarak seçilir. Eğer birden fazla alıcı aynı zamanda multicast grubunun çekirdeği olmak

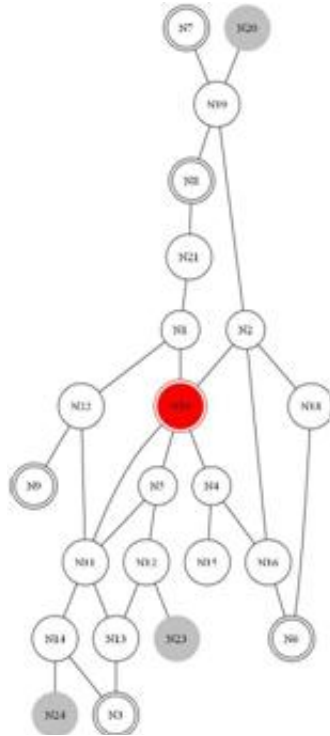
isterse, düğümün arasından hangisi en yüksek çekirdek ID'ye sahipse, o düğüm multicast grubunun çekirdek düğümü olarak seçilir.

Multicast paketini iletmek

En iyi MA paketine sahip olan her hangi bir düğüm ve alıcı düğümler mesh üyesi değiller ise de multicast paketini gönderebilir.. Düğümler MA paketlerini aldıktan sonra, mesh düğümlerine doğru gönderirler. Sonra paketler mesh düğümlerine ulaşana kadar bir düğümden diğerine atlayarak (hop by hop) gönderilir.

Multicast paketleri mesh düğümlerine ulaştıktan sonra, mesh düğümleri arasında dağıtılmaya başlanır. Sonra çekirdek düğümleri multicast paketini alır. Paketin kopyası çekirdek düğümünden diğer alıcılara gönderilmesi için, paketlerin geldiği yol üzerinden mesh üyelerini kullanarak paketleri gönderir.

Önerilen protokolün senaryosu



Şekil 4.2. EQ-PUMA protokolünde senaryo temsili

Şekil 4.3'te önerilen EQ-PUMA protokolündeki senaryo temsili verilmiştir. Geliştirilen protokol için iki farklı senaryo hazırlandı. İlk senaryoda 5 gönderici (N 3, N6, N7, N8 ve N9), 3 alıcı (N20, N23 ve N24), çekirdek düğümü N10 ve trafik yoğunluğu milisaniyede 1 paket (1 paket/ms) uygulamak üzere ilk senaryo hazırlanmıştır.

İkinci senaryoda ise, aynı ilk senaryodaki gibi 5 gönderici, 3 alıcı vardır. Fakat trafik yoğunluğunu daha da yavaşlatılarak iki düğümün arasındaki oluşkan kanalda 5 milisaniyede 1 paket göndermektir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde geliştirilen EQ-PUMA protokolüyle, PUMA protokolü arasında karşılaştırma yapılacaktır.

Multicast yönlendirme protokollerinin performanslarını ölçmek için, çok sayıda fazla simülatör yoktur. Bunun nedeni kablosuz ağlar alanında multicast yönlendirme protokollerinin yeni olmasıdır. Mevcut olan simülatör programları ya multicast yönlendirme protokollerini desteklemiyor ya da destekliyorsa da, protokolün simülatör programında uygulanması için bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Kablosuz ağlar alanında en başta gelen simülatörlerden biri, Berkeley üniversitesinin sunduğu ns-2 [47] simülatör programıdır. ns-2 C/C++ diliyle yazılıp, unicast protokollerinde iyi bir performans sağlayan simülatördür. Bu simülatör programının en önemli problemlerinden biri multicast yönlendirme protokollerini desteklememesidir. Multicast yönlendirme sorunlarından desteklemek için bir takım eklemeler önerilmiştir. Fakat bu eklemelerin birçoğu çok eski sürümlerde hazırlandıkları için yeni sürümlerde çalışmamaktadır. Sunulan eklentilerde sorun olduğu zaman doğru çözümü bulmak için etkili bir teknik destek yardımı yoktur. PUMA protokolünün ns-2 sürümü, Sidney Doria [48] tarafından sunulmuştur. Fakat ns-2'de uygulandığı zaman istenilen seviyede iyi bir sonuç elde vermemektedir.

Multicast yönlendirme protokolleri için tasarlanan JNS [49] adlı bir başka simülatör programı vardır. JNS simülatör protokolü, ns-2 simülatör programının bir çok fonksiyonlarına sahip olup JAVA tabanlı bir yazılımdır. Bu simülatör programının da eski olması ve 2002 yılından beri güncellenmemesi gibi sorunları vardır.

QualNet [50] simülatör programı, GloMoSim [51] simülatör programının ticari sürümüdür. Çok güzel bir ara yüze sahip olan QualNet simülatör programı, akademik sürümü çok yüksek maliyetli olduğundan dolayı test edilmedi.

Diğer simülator programları, OpNet [52], OMNet++ [53] gibi yüksek performanslı ve yaygın kullanılan simülator programlarıdır. Fakat bu simülator programları multicast protokollerini desteklememektedirler.

GloMoSim [51] simülator programı, QualNet simülator programının akademik sürümüdür. Ölçeklenebilir kablosuz ağlar sistemi için tasarlanmış bir simülator programıdır. Dezavantajlarından biri iyi bir teknik desteğe sahip olmaması ve birçok hatalar içermesidir.

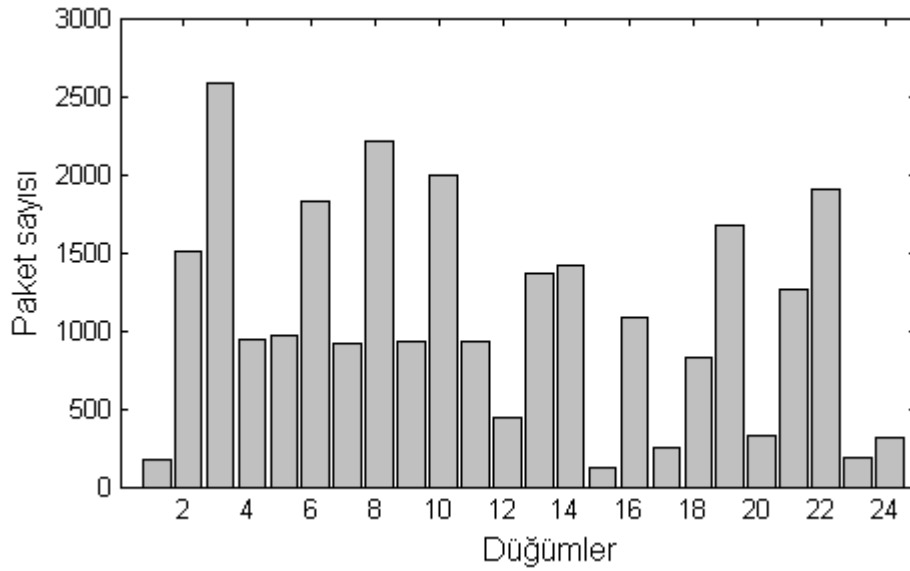
Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, simülator programı kullanılmamıştır. Geliştirilen protokolün simülasyonu için IntelliJ IDEA [54] geliştirme ortamını kullanarak Java programlama dili ile bir simülator geliştirilmiştir. Deneyler, DELL Inspiron 6000 modeli, 1.86 GHz hız, 160 GB disk ve 1.5 GB RAM teknik özelliklerine sahip bir diz üstü bilgisayar üzerinde geliştirilmiştir. Daha sonra alınan sonuçlardan Matlab [55] programı kullanarak grafikler elde edilmiştir.

Geliştirilen EQ-PUMA protokolüyle PUMA protokolü karşılaştırılarak çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bir protokolün tıkanıklık durumunda nasıl tepki verdiğini görmek için iki tane kıstas göz önüne alınmıştır. Bunlardan birincisi tüm ağda meydana gelen paket kayıpları sayısıdır. Kablolu ağlarda paket kayıplarının çok büyük bir kısmı tıkanıklık durumunda meydana gelir. Kablosuz ağlarda da paket kayıplarının büyük nedeni tıkanıklıktır.

Bunun yanı sıra çevresel etkilerden ve aktarım ortamının açık olmasından dolayı paket kayıpları meydana gelmektedir. İkinci kıstas ise, ağda tıkanıklık olduğu zaman düğümler multicast paketlerinin kaybını önlemek için nasıl alternatif bir yol izlemektedirler.

Burada bir önceki bölümde anlatıldığı gibi, düğümlerin yeni bir yol bulması için komşularından gelen MA paketinin içindeki kuyruğun boş olma durumuna göre multicast paketlerini yönlendirmektedir.

Yukarıda geçen sebeplerden dolayı, iki farklı senaryo uygulanmaktadır. İlk senaryoda 5 gönderici, 3 alıcı vardır. Trafik yoğunluğu ise milisaniyede 1 paket (1 paket/ms) şeklindedir. İkinci senaryoda ise, aynı ilk senaryodaki gibi 5 gönderici, 3 alıcı vardır. Fakat trafik yoğunluğu daha da yavaşlatarak iki düğümün arasındaki oluşan kanalda 5 milisaniyede 1 paket gönderilmektedir. İlk senaryoya göre alınan sonuçlar aşağıda verilmektedir.



Şekil 5.1. Birinci senaryoda PUMA protokolünde üretilen paket sayısı

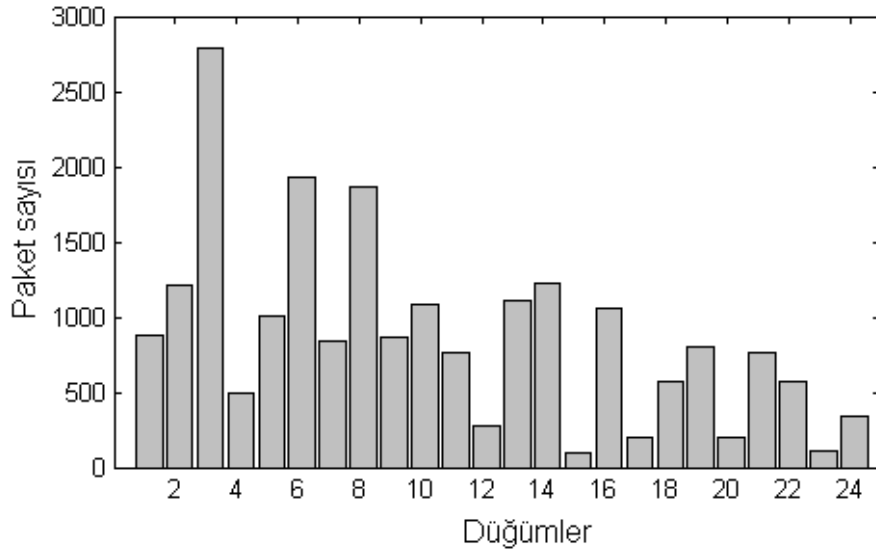
PUMA protokolü ile elde edilen üretilen paket sayıları grafiği Şekil 5.1’de görülmektedir.

Üretilen paket sayısı ve atılan paket sayısı multicast ağının performansını yansıtmaktadır. Şekil 5.2’de geliştirilen protokol tarafından üretilen paket sayıları gösterilmiştir.

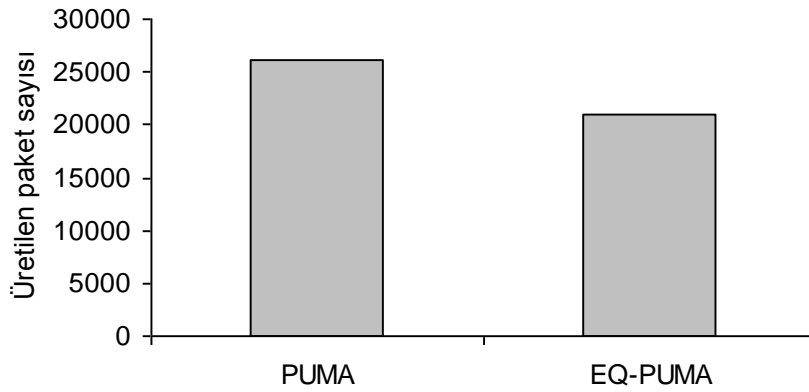
Geliştirilen yönlendirme protokolü ve ilk senaryo ile gerçekleştirilen simülasyon sonucunda elde edilen üretilen paketler grafiği Şekil 5.3’de gösterilmektedir.

Şekil 5.3’e göre PUMA protokolü, geliştirilen protokolden fazla multicast paketi üretmektedir. Bunun nedeni de geliştirilen protokolden eğer bir düğümün üstünde

fazla yük varsa ve paketlerini aktarmak için sadece bir yol varsa, paket kaybını önlemek amacıyla kuyruk yapısını boşaltmak için komşularından gelen paketleri bekletir. Bu yüzden üretilen paket sayısı PUMA protokolünden daha azdır.

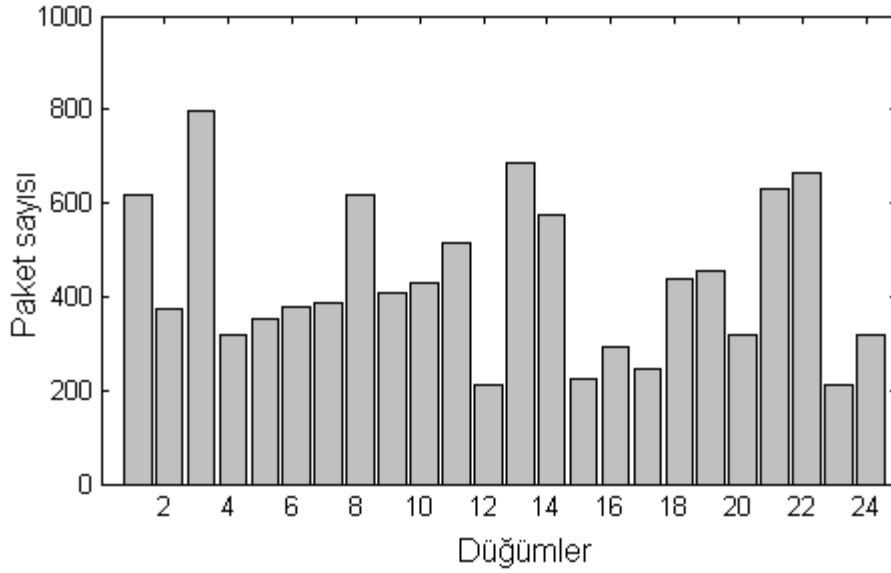


Şekil 5.2. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde üretilen paket sayısı

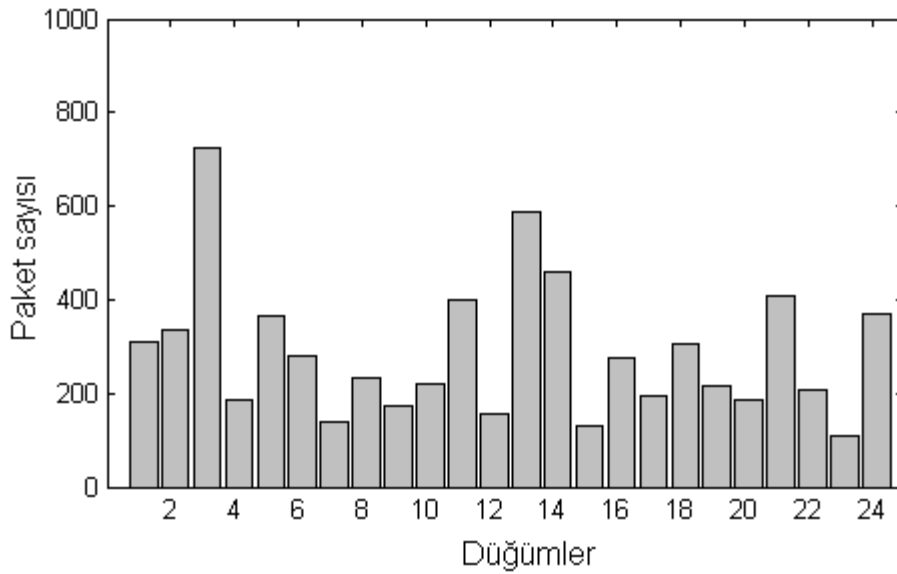


Şekil 5.3. Birinci senaryoda PUMA ve EQ-PUMA protokollerinde üretilen paket sayısı

Şekil 5.4'te PUMA protokolündeki bütün düğümlerini paket alma sayısını göstermektedir. Şekil 5.5'te EQ-PUMA protokolündeki bütün düğümlerde alınan paket sayısını göstermektedir.



Şekil 5.4. Birinci senaryoda PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği

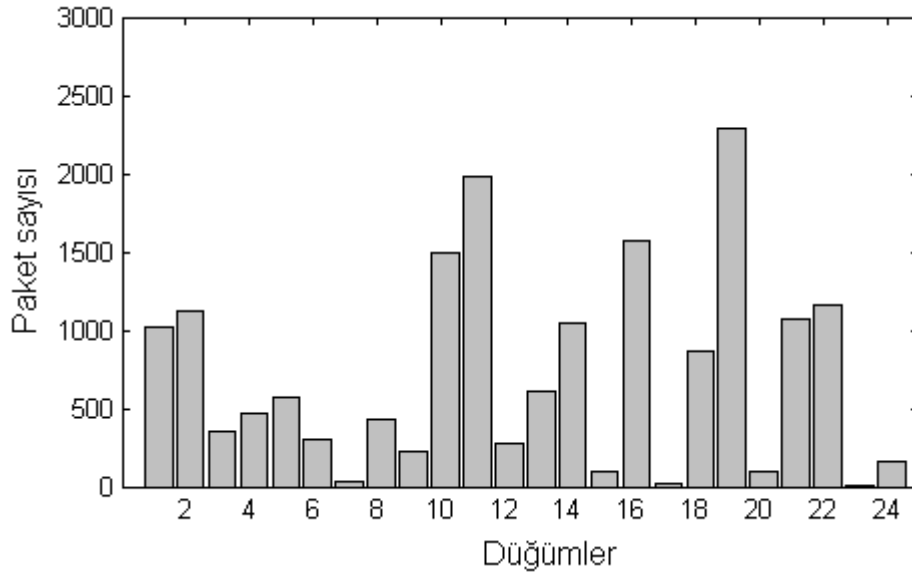


Şekil 5.5. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği

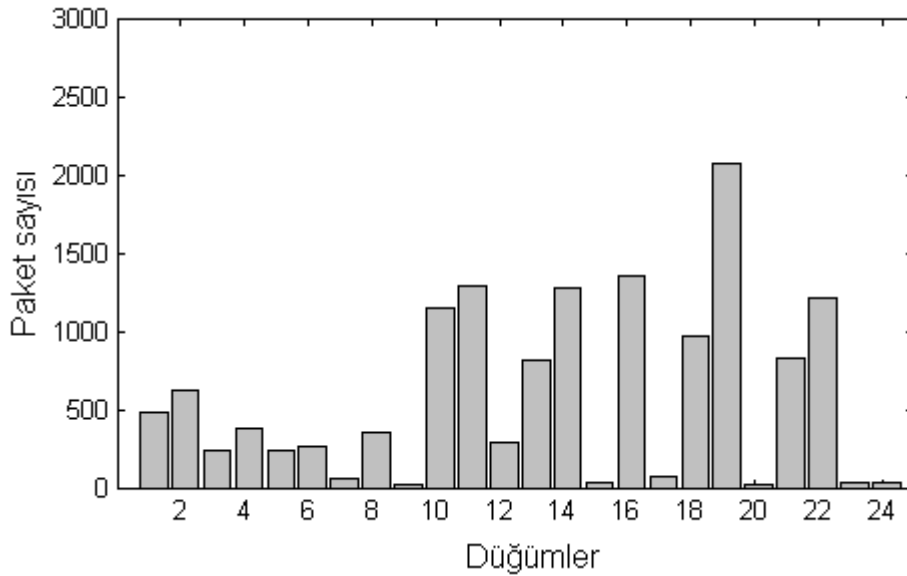
Şekil 5.4 ve 5.5'e bakılırsa, PUMA protokolü, EQ-PUMA protokolüyle karşılaştırıldığında daha fazla paket aldığı görünür. Bunun nedeni geliştirilen protokolün komşularından aldığı bilgilere göre paketi yönlendirmesidir. Bu yüzden geliştirilen protokolün PUMA protokolüne göre ilk bakışta daha az paket aldığı

görülmektedir. Fakat alınan paket oranlarına bakılırsa eğer EQ-PUMA protokolünün PUMA protokolünden daha iyi bir sonuç elde ettiği görülmektedir.

Elde edilen diğer sonuçlar ise, PUMA ile EQ-PUMA arasındaki atılan paket sayısı ve oranlarını belirlemektir. Aşağıdaki şekillerde PUMA ile EQ-PUMA protokolleri arasındaki düğümlere göre atılan paket sayıları verilmiştir.

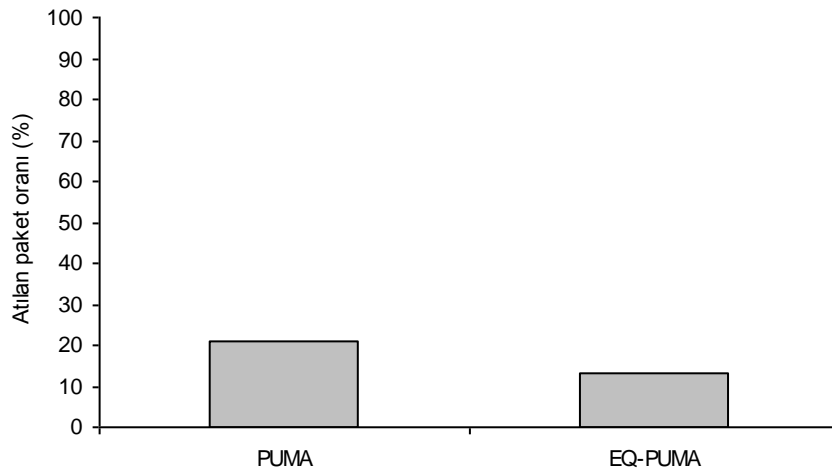


Şekil 5.6. Birinci senaryoda PUMA protokolünde atılan paket sayısı

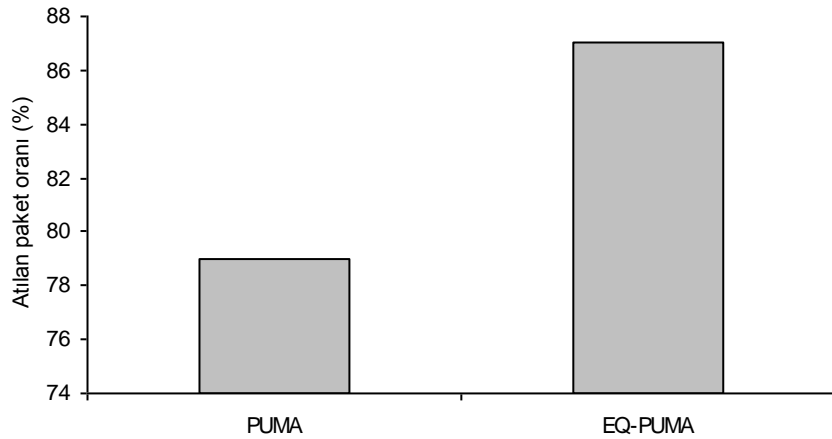


Şekil 5.7. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde atılan paket sayısı

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi PUMA protokolünde 1 ve 2 numaralı düğümlerde çok fazla yük geldiğinden dolayı paket atma daha fazla olmuştur. Şekil 5.7’de ise geliştirilen EQ-PUMA protokolüne ise 1 ve 2 numaralı düğümler için atılan paket sayısı yarıya düşmüştür. Aynı şey 10 ve 11 numaralı düğümler için de geçerlidir.

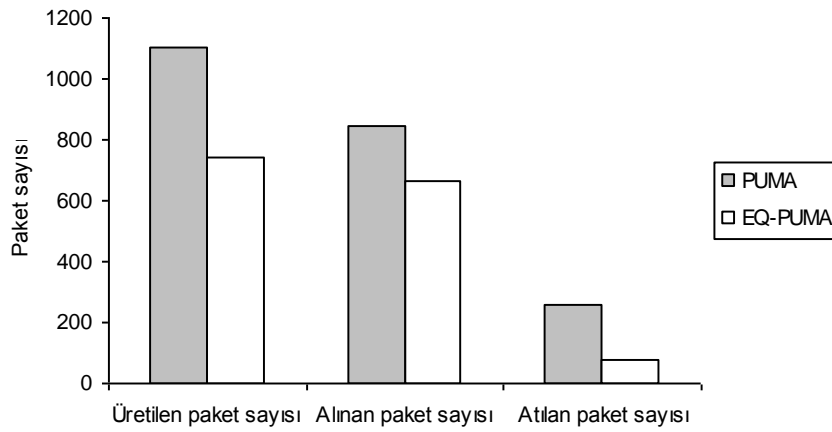


Şekil 5.8. Birinci senaryoda EQ-PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki atılan paket oranını

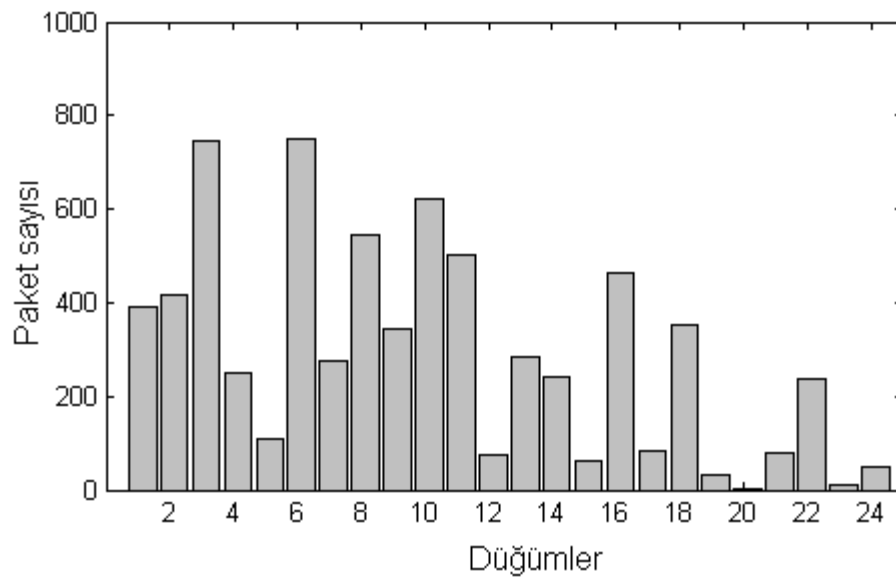


Şekil 5.9. Birinci senaryoda EQ- PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki paket alma oranını

İlk senaryoda 20, 23 ve 24 numaralı düğümler son alıcı düğümlerdir. Elde edilen sonuca göre, PUMA protokolünde üretilen paket sayısı EQ-PUMA protokolüne göre daha fazladır fakat gerçek zaman alınan paket sayısı oranı EQ-PUMA protokolünden daha azdır. Geliştirilen EQ-PUMA protokolündeki paket atılma oranı PUMA protokolündeki paket atılma oranına göre yaklaşık olarak % 7 daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10. Birinci senaryoda son alıcı düğümlerde paket hareketi karşılaştırması

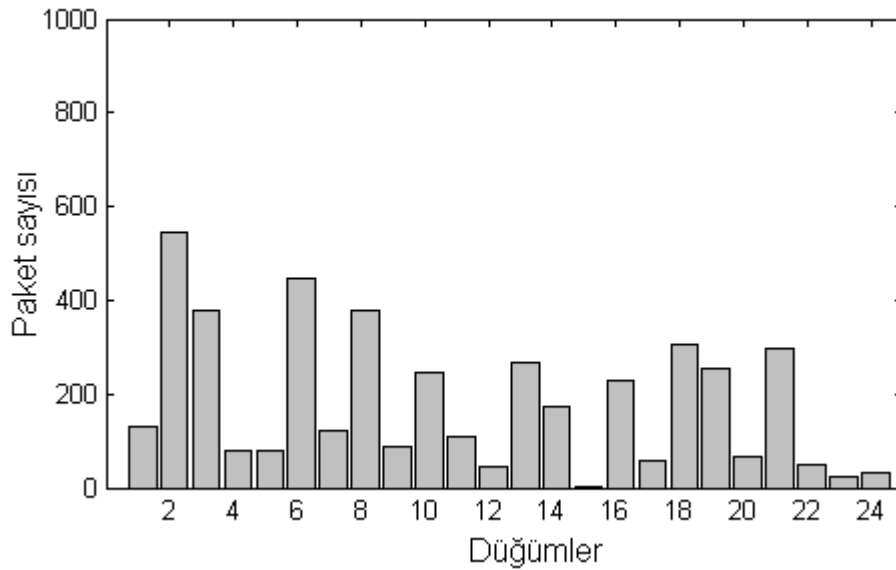


Şekil 5.11. İkinci senaryoda PUMA protokolünde üretilen paket sayısı

Geliştirilen EQ-PUMA protokoldeki paket alma oranı PUMA protokolündeki paket alma oranına göre yaklaşık olarak % 8 daha fazla olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak EQ-PUMA protokolünde paket atılmaları PUMA protokolüne göre daha düşüktür. İki protokolün ilk senaryoya göre oluşturulmuş atılan toplam paket sayısı karşılaştırma grafiği şekil 5.10’da gösterilmektedir.

İkinci senaryoda ise alınan sonuçlar aşağıdaki gibidir: PUMA protokolü ile gerçekleştirilen simülasyon sonucu elde edilen üretilen paket sayıları grafiği şekil 5.11’de görülmektedir. Şekilde PUMA protokolü kullanarak her düğüm tarafından üretilen paket sayısı görülmektedir. Üretilen paket sayısı ve düşen paket sayısı multicast ağının performansına yansıtılmaktadır. Şekil 5.12’de geliştirilen protokol tarafından üretilen paket sayıları gösterilmiştir.

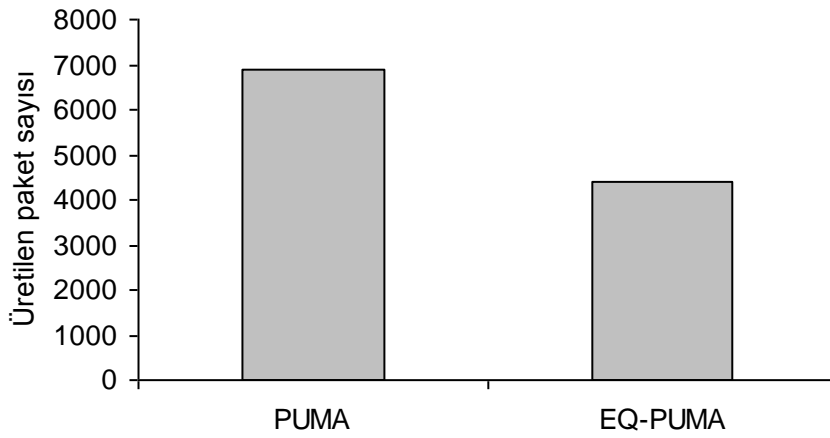


Şekil 5.12. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde üretilen paket sayısı

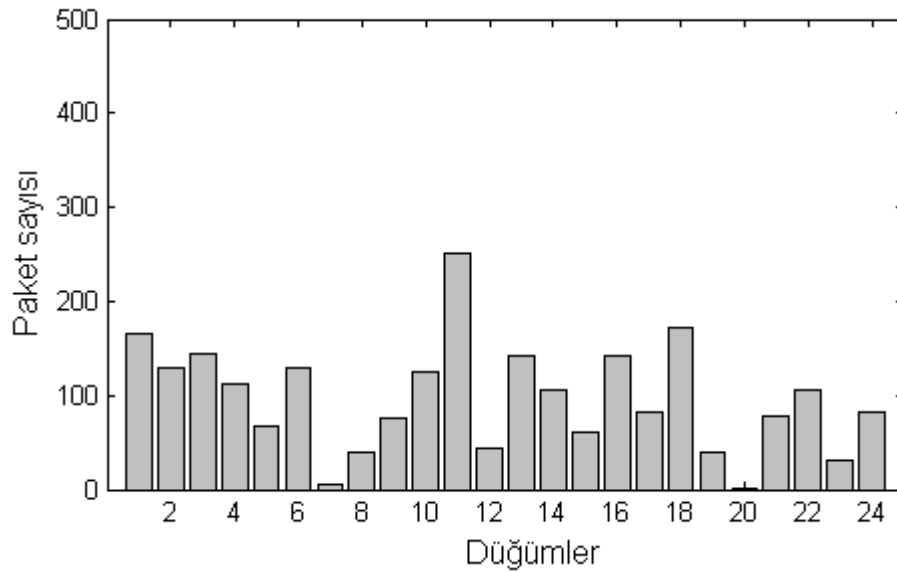
Geliştirilen yönlendirme protokolü ve ikinci senaryo ile gerçekleştirilen simülasyon sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği Şekil 5.13’te gösterilmektedir.

Şekil 5.13’e göre PUMA protokolü, geliştirilen protokolden fazla multicast paketi üretmektedir. Bunun nedeni de geliştirilen protokolden eğer bir düğümün üstüne yük

varsa ve daha paketlerini aktarmak için sadece o yol varsa, paket kaybını önlemek amacıyla kuyruk yapısını boşaltmak için komşularından gelen paketleri bekletir. Bu yüzden üretilen paket sayısı PUMA protokolünden daha azdır. Şekil 5.14'te PUMA protokolündeki bütün düğümlerini paket alma sayısını göstermektedir.

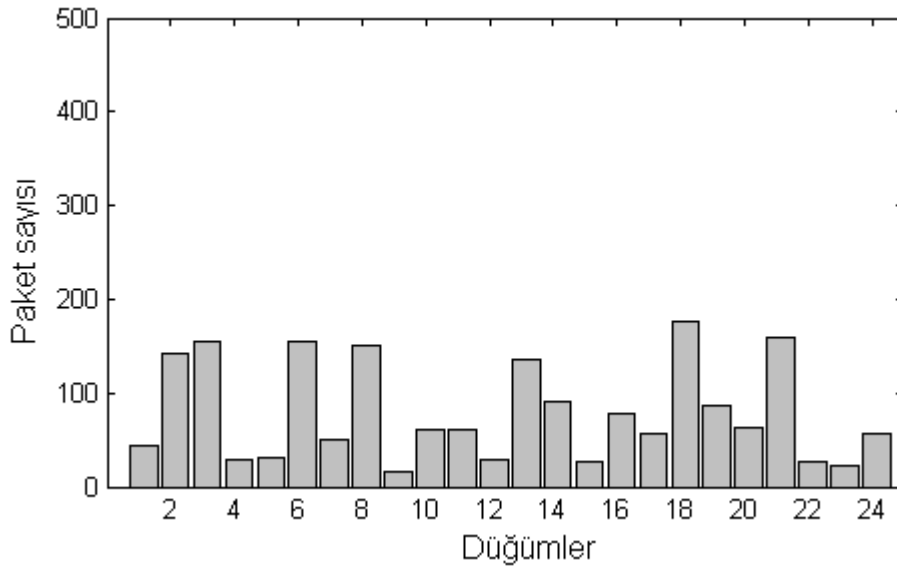


Şekil 5.13. İkinci senaryoda PUMA ve EQ-PUMA protokollerinde üretilen paket sayısı



Şekil 5.14. İkinci senaryoda PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği

Şekil 5.15'te EQ-PUMA protokolündeki bütün düğümlerde alınan paket sayısını göstermektedir. Şekil 5.14 ve 5.15'e bakılırsa, PUMA protokolü, EQ-PUMA protokolüyle karşılaştırıldığında daha fazla paket aldığını görünür. Bunun nedeni geliştirilen protokolün komşularından aldığı bilgilere göre paketi yönlendiriyor. Bu yüzden geliştirilen protokol PUMA protokolüne göre ilk bakışta daha az paket aldı ortaya çıkmıştır. Fakat alınan paket oranlarına bakılırsa eğer EQ-PUMA protokolünün PUMA protokolünden daha iyi bir sonuç elde ettiği görülmektedir.



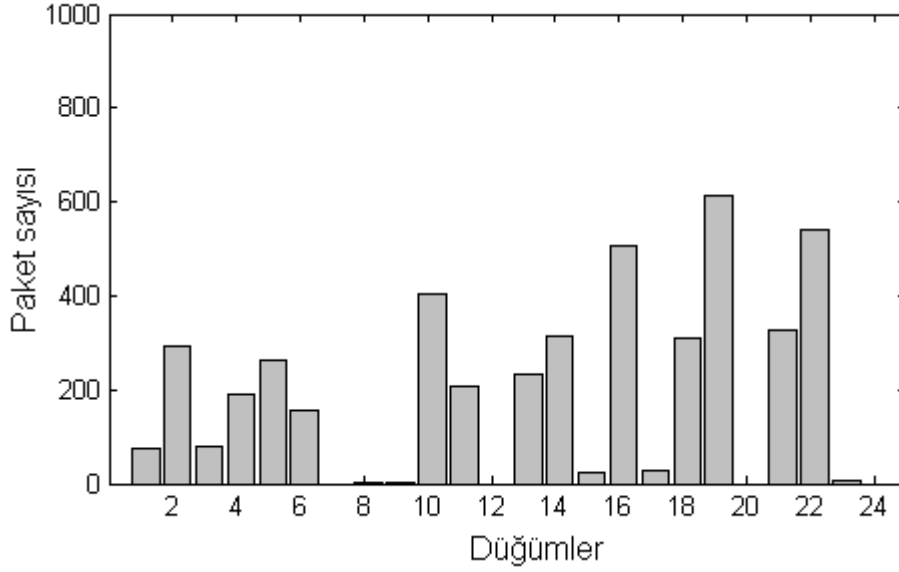
Şekil 5.15. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde düğümlerin paket alma grafiği

Elde edilen diğer sonuçlar ise, PUMA ile EQ-PUMA arasındaki atılan paket sayısı daha sonra oranlarını belirlemektir. Şekil 5.16 ve 5.17'de PUMA ile EQ-PUMA protokolleri arasındaki düğümlere göre atılan paketler sayısını göstermektedir.

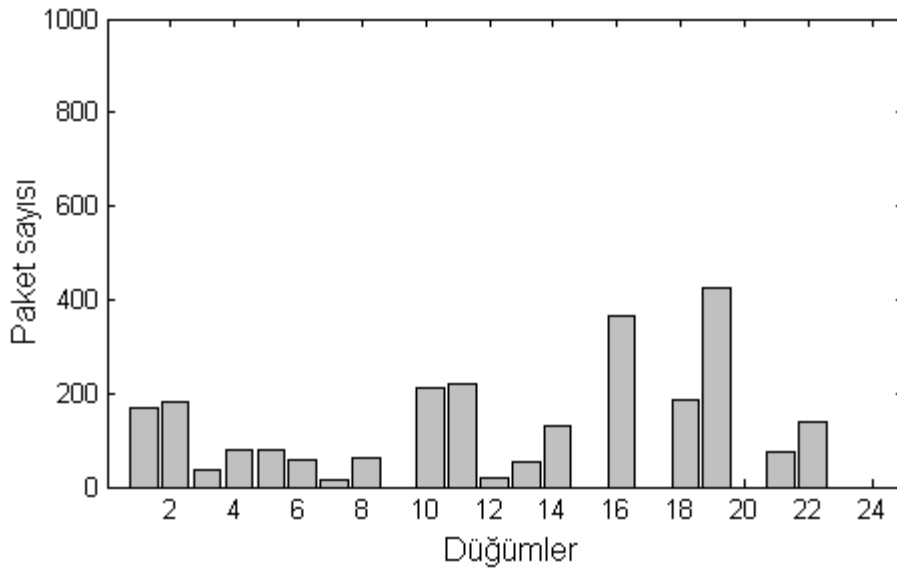
Aşağıdaki şekillerde PUMA protokolünde 23 numaralı düğümden kayıp ortaya çıkmıştır. Fakat EQ-PUMA protokolüne ise son alıcıların kendilerine gelen paketlerin tamamını almaktadırlar.

İkinci senaryoda 20, 23 ve 24 numaralı düğümler son alıcı düğümlerdir. Elde edilen sonuca göre, PUMA protokolünde üretilen paket sayısı EQ-PUMA protokolüne göre

daha fazla fakat son alıcılar için üretilen paket sayısı PUMA protokolündekinden daha fazladır. Bununla birlikte nedeni iki senaryoya göre trafik ağırlığı daha yavaşlanınca kuyruk yapısı daha da etkin bir şekilde ortaya çıkmıştır.



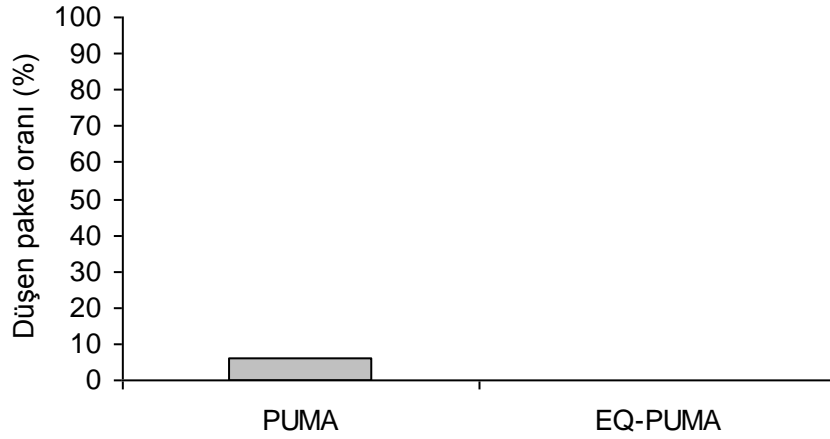
Şekil 5.16. İkinci senaryoda PUMA protokolünde atılan paket sayısı



Şekil 5.17. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolünde atılan paket sayısı

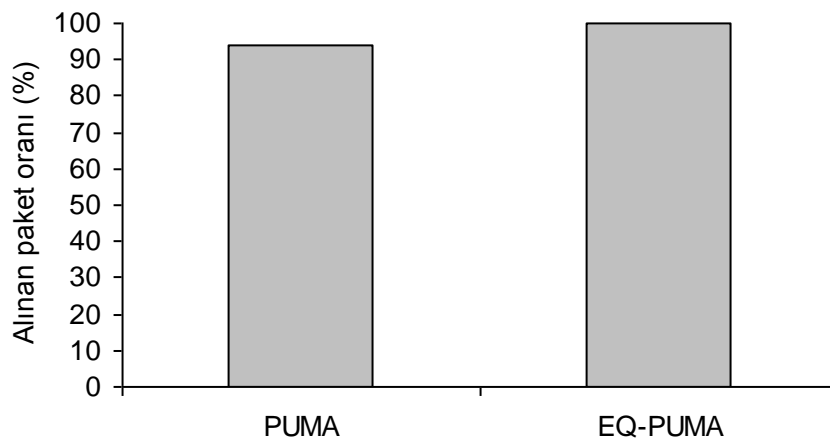
İkinci senaryoda 20, 23 ve 24 numaralı düğümler son alıcı düğümlerdir. Elde edilen sonuca göre, PUMA protokolünde üretilen paket sayısı EQ-PUMA protokolüne göre

daha fazla fakat son alıcılar için üretilen paket sayısı PUMA protokolündekinden daha fazladır. Bunun nedeni iki senaryoya göre trafik ağırlığı daha yavaşlanınca kuyruk yapısı daha da etkin bir şekilde ortaya çıkmıştır.



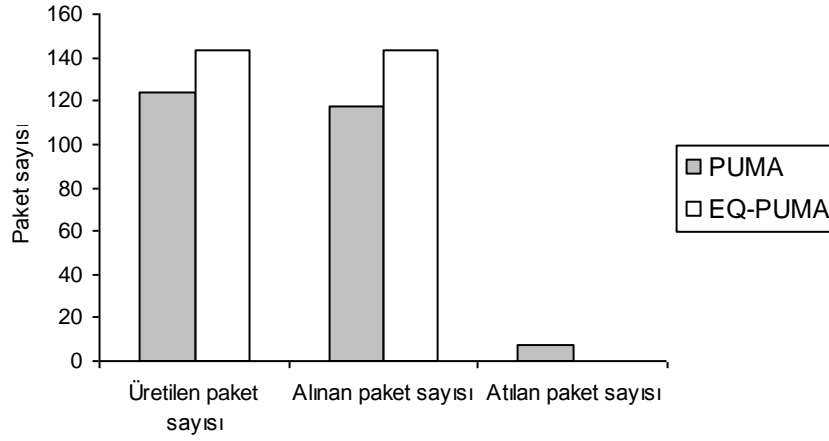
Şekil 5.18. İkinci senaryoda EQ-PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki atılan paket oranını

PUMA protokoldeki paket atılma oranının EQ-PUMA protokolündeki paket atılma oranına göre yaklaşık olarak % 6 daha fazla olduğu görünmektedir.



Şekil 5.19. İkinci senaryoda EQ- PUMA protokolüyle PUMA protokolü arasındaki paket alma oranını

Geliştirilen EQ-PUMA protokoldeki paket alma oranı PUMA protokolündeki paket alma oranına göre % 6 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20. İkinci senaryoda son alıcı düğümlerde paket hareketi karşılaştırması

Sonuç olarak EQ-PUMA protokolünde paket atılmaları PUMA protokolüne göre daha düşüktür. İki protokolün ikinci senaryoya göre oluşturulmuş atılan toplam paket sayısı karşılaştırma grafiği Şekil 5.20’de gösterilmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mobil tasarsız ağlar için bir multicast protokolü tasarlamak oldukça zordur. Her multicast yönlendirme protokolünün kendine göre avantajı ve dezavantajı vardır. Bu protokollerden bir kısmı ağaç yapısına dayanarak paketleri noktadan noktaya göndermektedir. Diğer kısım ise daha esnek bir şekilde çalışması için mesh tabanlı olarak tasarlanmaktadır. Bazı protokoller de multicast ağın içinde unicast yönlendirme protokollerini kullanarak paket iletmektedir. Diğer kısmı da enerjiyi daha etkin bir şekilde kullanmak amacı için tasarlanmış protokollerdir. Bütün sorunların tek bir multicast protokol içinde çözümü henüz bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu tür konularda multicast yönlendirme protokolleri araştırmacılar için çok açık bir konudur. Buna ek olarak hizmet kalitesi, enerji tasarrufu, hareketlilik, network kodlama ve tıkanıklık kontrolü akademik çalışma için açık konulardır.

Bu tezde kablosuz ağlarda tıkanıklık ve paket kaybını önlemek için bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol Java programlama diliyle yazılmıştır. Multicast yönlendirme protokolleri arasında yeni geliştirilen PUMA protokolü kullanılarak yeni bir protokol geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan çoklu yol kurma veya sadece tek yol kurma yaklaşımıyla çalışan protokollerin önemli sakıncaları bulunmaktadır. PUMA yönlendirme protokolünün, diğer multicast yönlendirme protokollerinden farkı, unicast yönlendirme protokolünü kullanmadan multicast grubundaki paylaşılan mesh düğümleri üzerinden yönlendirme işlemini yapabilesidir.

Önerilen multicast yönlendirme protokolü paket kaybını önlemek ve tıkanıklığı çözmek için tasarlanan bir protokoldür.

Deneysel çalışmaların sonucunda, geliştirilen protokolün en kısa yoldaki iletişimi seçebilmek için, düğümün bağımlılık tablosunda olan bilgilerin en iyi kuyruk yapısını seçtiği için, paket üretme sayısı PUMA protokolüne göre daha azdır. Fakat alınan paketlerin oranına bakılırsa eğer, ilk senaryoda EQ-PUMA protokolü %87

paket olarına sahipken, PUMA protokolünde paket alma oranı %79.3'tür. Atılan paket oranı PUMA protokolünde EQ-PUMA protokolüne göre %7 daha azdır.

İkinci senaryoda ise, EQ-PUMA protokolü %100 paket alma oranına sahipken; PUMA protokolünde paket alma oranı %94'tür. Bu senaryoda atılan paket oranı tamamen ortadan kalkmıştır. Ayrıca atılan paketlerin tek bir yol üzerinden gönderildiği zaman paket kaybı ortaya çıktığı görülmüştür. Geliştirilen protokol paketin kaybını önlemek amacıyla kuyruktaki gereksiz paketleri temizleyerek gelen paketleri beklemek durumunda bırakmıştır.

KAYNAKLAR

1. E. M. Royer, C. E. Perkins, "Multicast ad-hoc on demand distance vector (maodv) routing," *Internet-Draft*, Santa Barbara, 1-24 (2000).
2. J. Jetcheva, D. B. Johnson, "Adaptive Demand-Driven Multicast Routing in Multi-Hop Wireless Ad-Hoc Networks," *Proceedings of the 2nd ACM International Symposium on Mobile Ad-Hoc Networking & Computing (MobiHoc'01)*, USA, 33-44 (2001).
3. J. J. Garcia-Luna-Aceves, E. L. Madruga, "The Core Assisted Mesh Protocol," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks*, USA, 1380-1394 (1999).
4. S. J. Lee, W. Su, M. Gerla, "On-demand multicast routing protocol in multihop wireless mobile networks," *ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, special issue on Multipoint Communications in Wireless Mobile Networks*, USA, 441-453 (2002).
5. M. G. Ching-Chuan Chiang, L. Zhang, "Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop, Mobile Wireless Networks," *ACM-Baltzer Journal of Cluster Computing: Special Issue on Mobile Computing*, USA, 187-196 (1998).
6. R. S. Prasun Sinha, V. Bharghavan, "MCEDAR: Multicast Core-Extraction Distributed Ad-hoc Routing," *Proc. of the Wireless Communications and Networking Conference*, USA, 1313-1317 (1999).
7. C.-K. Toh, G. Guichal, S. Bunchua, " ABAM: On-Demand Associativity-based Multicast Routing for Ad-Hoc Mobile Networks," *Proc. IEEE VTS-Fall VTC*, Tokyo, 987-993 (2000).
8. C. W. Wu, Y. C. Tay, C.-K. Toh, "Ad-hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing Id-numbers (AMRIS)," *Internet-Draft* draft-ietf-manet-amris-spec-00.txt, USA, 1-23 (2000).
9. J. Lusheng, M. S Corson, "Differential destination multicast: A MANET multicast routing protocol for small groups," *IEEE INFOCOM2001*, USA, 1192-1201 (2001).
10. H. Moustafa, H. Labiod, "SRMP: A mesh-based protocol for multicast communication in ad-hoc networks," *World Wireless Congress*, USA, 43-48 (2002).
11. J. Xie, R. R. Talpade, A. McAuley, M. Liu, "AMRoute: Adhoc Multicast Routing Protocol," *Mobile Networks and Applications*, USA, 429-439 (2002).

12. S. K. Das, B. S. Manoj, C. S. R. Murthy, "Weight Based Multicast Routing Protocol for Ad-Hoc Wireless Networks," *Proc. IEEE GLOBECOM*, Taiwan, 117-121 (2002).
13. X. F. Zhang, L. Jacob, "MZRP: An Extension of the Zone Routing Protocol for Multicasting in MANETs," *Journal of Information Science and Engineering*, Taiwan, 535-551 (2004).
14. Z. J. Haas, M. R. Pearlman, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad-Hoc Networks," *Internet Draft*, USA, 1-23 (1997).
15. R. Vaishampayan, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Protocol for unified multicasting through announcements (PUMA)," *Proc. IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS)*, USA, 1015-1028 (2004).
16. R. Menchaca-Mendez, J. J. Garcia-Luna-Aceves, R. Vaishampayan, "ADPUMA: An Adaptive Multicast Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks" *IEEE SECON 2005 Posters*, USA, (2005).
17. R. Menchaca-Mendez, R. Vaishampayan, J. J. Garcia-Luna-Aceves, K. Obraczka, "DPUMA: A Highly Efficient Multicast Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks" *Adhoc Now*, Springer, Germany, 178 – 191(2005).
18. R. Menchaca-Mendez, R. Menchaca-Mendez, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "ADMP: An Adaptive Multicast Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks", *International Federation for Information Processing (IFIP)*, USA, 177-188 (2006).
19. J. Jin, Y. Mingxi, "Research on the MANET Multicast Routing Protocol PUMA Based on Network Coding", *Sciencepaper Online*, China, 1-8 (2009).
20. T. Ballardie, P. Francis, J. Crowcroft, "Core based trees (CBT)," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, USA, 85-95 (1993).
21. Şimşek, M., Akcayol M.A., "Kablosuz Ağlarda Sezgisel Bir Yönlendirme Protokolü ve Tıkanıklık Denetimi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Türkiye, 57-64 (2008).
22. Toklu, S., Akcayol M.A., "WAP Trafığında Tıkanıklık Denetimi ve Ulaşım Katmanı Protokolleri", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Türkiye, 397-408 (2009).
23. İ. Bay, "Ad-Hoc Ağlarda Enerji Etkin Yönlendirme Protokolü," Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Ens., Gazi Üniversitesi*, Türkiye, 6-10 (2007).

24. K. Obraczka, G. Tsudik. "Multicast Routing Issues in Ad-Hoc Networks", *IEEE International Conference on Universal Personal Communication (ICUPC'98)*, USA, 551-566 (1998).
25. C. S. R. Murthy, B. S. Manoj, "Ad-hoc Wireless Networks Architectures and Protocols," *Communications Engineering and Emerging Technologies Series*, Prentice Hall, USA (2004).
26. A. Mukherjee, S. Bandyopadhyay, D. Saha, "Location Management and Routing in Mobile Wireless Networks", *Artech House*, USA, 10-30 (2003)
27. W. Stallings, "Wireless Communications & Networks (2nd Edition)", *Prentice Hall*, USA, 2-10 (2004).
28. M. Ilyas, "The handbook of ad-hoc wireless networks", *CRC press*, USA, 1-20 (2003).
29. Ian F. Akyildiz , Xudong Wang , Weilin Wang, Wireless mesh networks: a survey, *Computer Networks and ISDN Systems*, USA, 445-487 (2005).
30. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks Elsevier* USA, 393–422 (2002).
31. G. Held "Wireless Mesh Networks", *Auerbach Publications*, USA, 14-21. (2005).
32. I. F. Akyildiz, I. H. Kasimoglu, "Wireless sensor and actor networks: research challenges", *Ad-Hoc Networks Elsevier* , USA, 351–367 (2004).
33. T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, "Introduction to Algorithms Second Edition" *The MIT Press, MacGraw-Hell*, USA, 525-620 (2001).
34. U. T. Nguyen, J. Xu, York University, "Multicast Routing in Wireless Mesh Networks: Minimum Cost Trees or Shortest Path Trees?" *IEEE Communications Magazine*, USA, 72-77 (2007).
35. D. Waitzman, C. Partridge, S. Deering, "Distance Vector Multicast Routing Protocol," *RFC-1075*, USA, 1-33 (1988).
36. J. Moy, "Multicast Routing Extension for OSPF," *Communications of the ACM*, UK, 61-66 (1994).
37. R. Sedgewick "Algorithms in Java, Third Edition, Part 5: Graph Algorithms", Addison Wesley, USA, 310-428 (2003).

38. S. Das, B. Manoj, C. Murthy, "A dynamic core based multicast routing protocol for Ad-hoc Wireless Networks", *In Proceedings of ACM/MOBIHOC*, Switzerland, 24-35 (2002).
39. P. M. Ruiz, A. F. Gomez-Skarmeta, "Approximating Optimal Multicast Trees in Wireless Multihop Networks," *10th IEEE Symposium on Computers and Communications*, Spain, 686-691.(2005).
40. S. Deering, D. L. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, C. G. Liu, L. Mei, "The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, USA, 153-162 (1996).
41. Toh, C. K., "Ad-Hoc Mobile Wireless Networks – Protocols and Systems" *Prentice Hall Ptr*, USA, 175-213 (2002).
42. I. Stojmenovic, "Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing," *John Wiley*, USA, 371-391 (2002).
43. O. Badarneh, M. Kadoch, "Multicast Routing Protocols in Mobile Ad-Hoc Networks: A Comparative Survey and Taxonomy", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, USA, 1-42 (2009).
44. C. de Moraes Cordeiro, H. Gossain, D. P. Agrawal. "Multicast over wireless mobile ad-hoc networks: Present and future directions", *IEEE Network*, USA, 52-59 (2003).
45. Y. B. Ko, N. H. Vaidya, "Geocasting in Mobile Ad-Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms", *Proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications*, USA, 25-26 (1999).
46. R. Perlman, "An algorithm for distributed computation of a spanning tree in an extended lan," *ACM Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM)*, Canada, 44–53 (1985).
47. The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (2006).
48. S. Doria, PUMA protocol code for ns-2 simulation program <http://www.sourceforge.net/projects/puma-adhoc/> (2008).
49. The Java Network Simulator- JNS, <http://jns.sourceforge.net/> (2008).
50. Scalable Network Technologies - Qualnet, <http://www.scalablenetworks.com/> (2006).
51. Global Mobile Information System Simulator - GloMoSim <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/> (2008).

52. Opnet Wireless Network Simulation www.opnet.com (2008).
53. The OMNet++ Network Simulator www.omnetplusplus.org (2009).
54. IntelliJ IDEA, Jet Brains s. r. o., Multi-Language Software Development Environment www.jetbrains.com (2009)
55. The MathWorks - MATLAB and Simulink for Technical Computing www.mathworks.com.(2009)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAKER, Mohammed R.
Uyruğu : Irak
Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1983 Kerkük
Medeni hali : Bekar
Telefon : 009 05438564345
e-mail : mr_baker@live.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kerkük Teknik Üniversitesi/ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Al-Velid Lisesi	2001

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol.