

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALICI TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN ARAÇLARARASI
HABERLEŞMEDE ÇOKLUORTAM SERVİSLERİNE UYGUNLUĞUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Z. CİHAN TAYŞI

**DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. A. GÖKHAN YAVUZ**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALICI TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN ARAÇLARARASI
HABERLEŞMEDE ÇOKLUORTAM SERVİSLERİNE UYGUNLUĞUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Z. Cihan TAYŞI tarafından hazırlanan tez çalışması2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Bülent Örencik

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selim Akyokuş

Doğuş Üniversitesi

Prof. Dr. Nizamettin Aydın

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tefik İnan

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transportation Systems, ITS) kapsamındaki en önemli araştırma konularından biri Akıllı Yardımcı Sistemler (Intelligent Co-operative Systems, ICS)'dir. Araçlar Arası Haberleşme (Inter Vehicle Communication, IVC) üzerine kurulu ICS'ler, trafikte verimliliği ve sürüş emniyetinin arttırılmasında kilit önem arz etmektedirler. Kavşaklarda kazaların engellenmesi, şerit korunması ve hareket kontrolü IVC sistemlerinin geliştirilmesi ile ortaya çıkmış olan çok sayıdaki emniyet uygulamalarından sadece birkaçıdır.

IVC sistemlerinin zaman içerisinde gelişmesi, bu sistemlerin sürüş emniyeti ve trafik verimliliği uygulamalarının yanısıra, İnternet erişimi sayesinde İnternet üzerinden erişilen tüm çoklu-ortam servisleri için de kullanılmasına imkan sağlamıştır. Ancak trafik verimliliği ve sürüş emniyeti uygulamaları ile çoklu-ortam uygulamaları arasında çeşitli yapısal farklar bulunmaktadır. Dolayısıyla IVC üzerine kurulu ağlarda çoklu ortam servislerinin verilebilmesi için kullanılan coğrafi yönlendirme protokollerinin bu uygulamaların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, IVC uygulamaları ve çoklu-ortam servislerinin yönlendirme ihtiyaçları ortaya konulmuş, mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin detaylı bir şekilde incelenerek GeoNet mimarisine uygunlukları tartışılmıştır. Bu inceleme sonucunda özellikle çoklu-ortam servislerinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek yeni bir coğrafi yönlendirme modülü oluşturulmuştur. Gerçekleştirdiğimiz benzetim ve testlerde diğer yöntemlere göre daha verimli olduğunu ortaya koyduğumuz yönlendirme modülünün benimsenmesini umut ediyoruz.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgi, birikim, görüş ve önerileriyle destek olup yol gösteren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ'a, tez izleme komitesinde bulunan ve tez sürecinde değerli fikirleri ile katkıda bulunan Prof. Dr. Bülent ÖRENCİK ve Yrd. Doç. Dr. Tefik İNAN hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma, moral ve motivasyon desteğini esirgemeyen tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak, bugünlere gelmem de büyük emeği geçen, beni hep destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ağustos, 2012

Z. Cihan TAYŞI

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1.....	2
GİRİŞ.....	2
1.1 Literatür Özeti.....	3
1.2 Tezin Amacı.....	5
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2.....	7
CAR-2-CAR COMMUNICATION CONSORSIUM.....	7
2.1 C2C-CC Mimarisi	7
2.2 GeoNet Projesi.....	8
2.2.1 GeoNet Kapsamı	9
2.2.2 GeoNet Modülleri	9
BÖLÜM 3.....	13
ETSI STANDARDI	13
3.1 Paket tipleri	14
3.1.1 Ortak Paket Yapıları.....	14
3.2 Servisler	15
3.2.1 Konum ve Zaman Bilgisinin Güncellenmesi.....	15
3.2.2 İşaret Verme	15
3.2.3 Konum Bulma.....	15
3.2.4 Paket İşleme.....	15
3.3 Paket Yönlendirme Algoritmaları.....	16
3.3.1 GF	16
3.3.2 CBF.....	17
BÖLÜM 4.....	19

COĞRAFI YÖNLENDİRME	19
4.1 İhtiyaç Duyulan Coğrafi Yönlendirme Protokolünün Özellikleri	20
4.1.1 Haberleşme Kapsamı	20
4.1.2 Haberleşmenin Yönü	21
4.1.3 Veri Aktarım Hızı ve Gecikmesi	21
4.1.4 Veri Dağıtım Modeli	21
4.1.5 Adresleme	22
4.2 Coğrafi Yönlendirme Protokollerinin Seçimi	22
4.3 Gönderici Tabanlı Algoritmalar	25
4.3.1 GF	25
4.4 Alıcı Tabanlı Algoritmalar	27
4.4.1 BLR	27
4.4.2 CBF	28
4.4.3 IGF	29
4.4.4 LAR	30
4.4.5 ROF	31
4.4.6 Algoritmaların Seçimi	32
BÖLÜM 5	33
GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN MİMARİSİ	33
5.1 Sistemin Genel Yapısı	33
5.1.1 Gerçekleme Katmanı	35
5.1.2 Uygulama Arayüzü	35
5.1.3 Başarım Bilgisinin Toplanması	36
5.2 NCTUns benzetim ortamının yapılandırılması	36
5.2.1 Konum Bilgisi	37
5.2.2 Benzetim Zamanı	38
5.2.3 İşlem Eşgüdümü	38
BÖLÜM 6	39
COĞRAFI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN BAŞARIM DEĞERLENDİRMELERİ	39
6.1 Benzetim Senaryoları	39
6.2 Benzetim Parametreleri	41
6.3 Benzetim Başarım Kriterleri	41
6.4 Benzetim Sonuçları	42
6.4.1 Otoyol Senaryoları	42
6.4.2 Şehiriçi Senaryoları	58
BÖLÜM 7	73
SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	74
EK-A	80
BENZETİM ORTAMININ BELİRLENMESİ	80
A-1 Tümüleşik Benzetim Ortamları	80
A-2 Trafik Benzetimci ile Ağ Benzetimcinin Ayrıştırıldığı Benzetim Ortamları	84
A-3 Trafik Benzetimci ile Ağ Benzetimcisinin Karşılıklı Olarak Birleştirilmesi	85

A-4 Matematiksel Modeller	86
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGE LİSTESİ

a	Dünyanın ekvatordaki yarıçapı
b	Dünyanın kutuplardaki yarıçapı
d	Hedef düğümün konumu
D	İki düğüm arasındaki uzaklık
D_{PDO}	Paket dağıtım oranı
D_{PE}	Hedefe ulaştırılan paket sayısı
D_{PO}	Kaynaktan çıkan paket sayısı
D_{PU}	Hedefe ulaştırılan paket sayısı
D_{PUO}	Paket üretim oranı
e	Dünyanın eksen kayıklığı katsayısı
E_{cbr}	Alıcı düğüm tarafından harcanan enerji
E_{max}	Düğümün maksimum enerji kapasitesi
E_R	Düğümün kalan enerjisi
f	Dünyanın düzleşme katsayısı
F	Enerji ve uzaklığa bağlı bekleme süresi katsayısı
h	Yükseklik
l	Son düğümün konumu
lat	Enlem
$long$	Boylam
M	Benzetim boyunca başarılı şekilde hedef düğüme aktarılan paket sayısı
p	x ve y noktaları arasındaki uzaklık
P_{AD}	Paketlerin kaynak düğümden hedef düğüme ortalama ulaşma süresi
P_D	Paketin kaynak düğümden hedef düğüme ulaşma süresi
P_r	Hedef düğüme doğru yapılan ilerleme
R	Haberleşme mesafesi
R_i	i . Düğüme olan uzaklık
R_j	j . Düğüme olan uzaklık
t	Bekleme süresi
t_{max}	En uzun bekleme süresi
t_{min}	En kısa bekleme süresi
T_{CTS}	CTS sinyali gönderilmeden önce beklenenecek olan süre
x	Aracın kartezyen koordinat sisteminde, x eksenindeki konumu
y	Aracın kartezyen koordinat sisteminde, y eksenindeki konumu

z Aracın kartezyen koordinat sisteminde, z eksenindeki konumu

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ATA	Araçsal Tasarsız Ağ
AU	Application Unit
BLR	BeaconLess Routing
C2C-CC	Car-to-car Communication Consorsium
CBF	Contention Based Forwarding
CTS	Clear To Send
CYK	Coğrafi Yönlendirme Katmanı
DFD	Dynamic Forwarding Delay
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EZ	Expected Zone
GF	Greedy Forwarding
GNSS	Global Navigation Satellite System
HKDO	Haberleşmeye Katılan Düğüm Oranı
ICS	Intelligent Co-operative Systems
IDTD	Increased Distance Toward the Destination
IGF	Implicit Geographic Forwarding
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol Version 6
ITS	Intelligent Transportation Systems
IVC	Inter Vehicle Communication
JSK	Association of Electric Technology for Automobile Traffic and Driving
KT	Komşuluk Tablosu
LAR	Location Aided Routing
LS	Location Service
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MFR	Most Forward within the Radius
MHVB	Multi-Hop Vehicular Broadcast
OBU	On-Board Unit
ORTS	Open Ready To Send
PDO	Paket Dağıtım Oranı
PSGR	Priority bases Stateless Geo-routing

PUO	Paket Üretim Oranı
ROF	Receiver-based Opportunistic Forwarding
RSU	Road-Side Unit
RZ	Request Zone
SHB	Single Hop Broadcast
SIFS	Short Inter Frame Spacing
TSB	Topologically Scooped Broadcast
UMB	Urban Hulti-Hop Broadcast
UUGS	Uçtan Uca Gecikme Süresi
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VRV	Vehicle to Vehicle over Roadside
WSMP	Wave Short Message Protocol

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 C2C-CC Mimarisi [6]	8
Şekil 2.2 GeoNet projesinin C2C-CC mimarisindeki kapsamı [18]	9
Şekil 2.3 GeoNet projesinin C2C-CC mimarisindeki kapsamı[18]	10
Şekil 3.1 CYK kapsamında kullanılan paketlerin genel yapısı [16]	14
Şekil 3.2 CYK başlığının yapısı [16]	14
Şekil 3.3 Konum Bulma servisinin çalışmasına yönelik örnek[16]	16
Şekil 3.4 GF algoritmasının çalışmasını anlatan pseudo kod [16]	17
Şekil 3.5 CBF algoritmasının çalışmasını anlatan pseudo kod [16]	18
Şekil 4.1 GF protokolünde bir sonraki düğümün seçilmesi	27
Şekil 4.2 CBF protkolünde paketlerin iletimi için bir sonraki düğümün seçilmesi	29
Şekil 4.3 LAR Protokolünde Expected Zone ve Request Zone belirlenmesi	31
Şekil 4.4 ROF protokolünde paketin iletilmesi için bir sonraki düğümün seçimi	32
Şekil 5.1 Geliştirilen sisteme ait blok diyagram	34
Şekil 5.2 Gerçeklenen sistemin NCTUns benzetim ortamındaki yeri	35
Şekil 6.1 Şehiriçi senaryolar için NCTUns benzetim ortamında oluşturulan yapı	40
Şekil 6.2 HKDO = %10 durumu için PDO	43
Şekil 6.3 HKDO = %20 durumu için PDO	43
Şekil 6.4 HKDO = %30 durumu için PDO	44
Şekil 6.5 HKDO = %40 için PDO	44
Şekil 6.6 HKDO = %10 için UUGS	45
Şekil 6.7 HKDO = %20 için UUGS	45
Şekil 6.8 HKDO = %30 için UUGS	45
Şekil 6.9 HKDO = %40 için UUGS	46
Şekil 6.10 HKDO = %10 için PUO	46
Şekil 6.11 HKDO = %20 için PUO	47
Şekil 6.12 HKDO = %30 için PUO	47
Şekil 6.13 HKDO = %40 için PUO	47
Şekil 6.14 HKDO = %10 için PDO	48
Şekil 6.15 HKDO = %20 için PDO	48
Şekil 6.16 HKDO = %30 için PDO	49
Şekil 6.17 HKDO = %40 için PDO	49
Şekil 6.18 HKDO = %10 için UUGS	50
Şekil 6.19 HKDO = %20 için UUGS	50
Şekil 6.20 HKDO = %30 için UUGS	50

Şekil 6.21	HKDO = %40 için UUGS.....	51
Şekil 6.22	HKDO = %10 için PUO.....	51
Şekil 6.23	HKDO = %20 için PUO.....	52
Şekil 6.24	HKDO = %30 için PUO.....	52
Şekil 6.25	HKDO = %40 için PUO.....	52
Şekil 6.26	HKDO = %10 için PDO.....	53
Şekil 6.27	HKDO = %20 için PDO.....	53
Şekil 6.28	HKDO = %30 için PDO.....	54
Şekil 6.29	HKDO = %40 için PDO.....	54
Şekil 6.30	HKDO = %10 için UUG.....	55
Şekil 6.31	HKDO = %20 için UUG.....	55
Şekil 6.32	HKDO = %30 için UUG.....	55
Şekil 6.33	HKDO = %40 için UUG.....	56
Şekil 6.34	HKDO = %10 için PUO.....	56
Şekil 6.35	HKDO = %20 için PUO.....	57
Şekil 6.36	HKDO = %30 için PUO.....	57
Şekil 6.37	HKDO = %40 için PUO.....	57
Şekil 6.38	HKDO = %10 için PDO.....	58
Şekil 6.39	HKDO = %20 için PDO.....	59
Şekil 6.40	HKDO = %30 için PDO.....	59
Şekil 6.41	HKDO = %40 için PDO.....	59
Şekil 6.42	HKDO = %10 için UUGS.....	60
Şekil 6.43	HKDO = %20 için UUGS.....	60
Şekil 6.44	HKDO = %30 için UUGS.....	61
Şekil 6.45	HKDO = %40 için UUGS.....	61
Şekil 6.46	HKDO = %10 için PUO.....	62
Şekil 6.47	HKDO = %20 için PUO.....	62
Şekil 6.48	HKDO = %30 için PUO.....	62
Şekil 6.49	HKDO = %40 için PUO.....	63
Şekil 6.50	HKDO = %10 için PDO.....	63
Şekil 6.51	HKDO = %20 için PDO.....	64
Şekil 6.52	HKDO = %30 için PDO.....	64
Şekil 6.53	HKDO = %40 için PDO.....	64
Şekil 6.54	HKDO = %10 için UUGS.....	65
Şekil 6.55	HKDO = %20 için UUGS.....	65
Şekil 6.56	HKDO = %30 için UUGS.....	66
Şekil 6.57	HKDO = %40 için UUGS.....	66
Şekil 6.58	HKDO = %10 için PUO.....	67
Şekil 6.59	HKDO = %20 için PUO.....	67
Şekil 6.60	HKDO = %30 için PUO.....	67
Şekil 6.61	HKDO = %40 için PUO.....	68
Şekil 6.62	HKDO = %10 için PDO.....	68
Şekil 6.63	HKDO = %20 için PDO.....	69
Şekil 6.64	HKDO = %30 için PDO.....	69
Şekil 6.65	HKDO = %40 için PDO.....	69
Şekil 6.66	HKDO = %10 için UUGS.....	70

Şekil 6.67	HKDO = %20 için UUGS.....	70
Şekil 6.68	HKDO = %30 için UUGS.....	70
Şekil 6.69	HKDO = %40 için PDO	71
Şekil 6.70	HKDO = %10 için PUO.....	71
Şekil 6.71	HKDO = %20 için PUO.....	72
Şekil 6.72	HKDO = %30 için PUO.....	72
Şekil 6.73	HKDO = %40 için PUO.....	72
Şekil Ek-A.1	ns-2 benzetim ortamına ait ekran görüntüsü.....	81
Şekil Ek-A.2	ns-3 benzetim ortamına ait ekran görüntüsü.....	82
Şekil Ek-A.3	OMNeT++ benzetim ortamına ait ekran görüntüsü	83
Şekil Ek-A.4	NCTUns benzetim ortamına ait ekran görüntüsü	84
Şekil Ek-A.5	SUMO trafik benzetim ortamına ait ekran görüntüsü	85
Şekil Ek-A.6	VEINS benzetim ortamına ait ekran görüntüsü	86

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	IPv6 ve C2CNet gönderim şekillerinin eşleştirilmesi [18] 11
Çizelge 4.1	Mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin genel özellikleri [20].....24
Çizelge 4.2	Mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin özellikleri.....26
Çizelge 6.1	Benzetim senaryolarında kullanılan parametreler ve değerleri41

**ALICI TABANLI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN ARAÇLARARASI
HABERLEŞMEDE ÇOKLU-ORTAM SERVİSLERİNE UYGUNLUĞUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Z. Cihan TAYŞI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transportation Systems, ITS) kapsamındaki en önemli araştırma konularından biri Akıllı Yardımcı Sistemler (Intelligent Co-operative Systems, ICS)'dir. Araçlar Arası Haberleşme (Inter Vehicle Communication, IVC) üzerine kurulu ICS'ler, trafikte verimliliği ve sürüş emniyetinin arttırılmasında kilit önem arz etmektedirler. Kavşaklarda kazaların engellenmesi, şerit korunması ve hareket kontrolü IVC sistemlerinin geliştirilmesi ile ortaya çıkmış olan çok sayıdaki emniyet uygulamalarından sadece birkaçıdır. Ayrıca ICS'ler sayesinde, otomatik sürüş özelliğine sahip otoyollar, geçiş sistemleri, araç gruplarının hareket kontrolü, rota iyileştirilmesi ve çevresel faktörlere göre araç hızının ve yönünün korunması ve/veya değiştirilmesi gibi uygulamalar da geliştirilmektedir.

Trafik verimliliği ve sürüş emniyeti uygulamalarının temelinde bir araç tarafından üretilen bilginin belirli bir süre içerisinde kendisine belirli bir mesafede olan diğer araçlara aktarılması gerekmektedir. Geleneksel ağlarda kullanılan yönlendirme protokolleri bu işlemin gerçekleştirilmesi için yeterli değildir. Bu şekilde bir yönlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için konum bilgisinin ve konum bilgisine ait yönlendirme kriterlerinin kullanıldığı coğrafi yönlendirme protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır.

IVC sistemlerinin zaman içerisinde gelişmesi, bu sistemlerin sürüş emniyeti ve trafik verimliliği uygulamalarının yanısıra, Internet erişimi dolayısıyla Internet üzerinden erişilen tüm çoklu-ortam servisleri için de kullanılmasına imkan sağlamıştır. Ancak trafik verimliliği ve sürüş emniyeti uygulamaları ile çoklu-ortam uygulamaları arasında çeşitli yapısal farklar bulunmaktadır. Dolayısıyla IVC üzerine kurulu ağlar üzerinde çoklu-ortam servislerinin verilebilmesi için kullanılan coğrafi yönlendirme protokollerinin bu uygulamaların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, literatürdeki coğrafi yönlendirme protokolleri incelenmiştir. Mevcut coğrafi yönlendirme protokolleri, gönderici tabanlı ve alıcı tabanlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Geliştirilen IVC uygulamaları ve standartlar genellikle gönderici tabanlı yönlendirme protokollerine yer verilmekle beraber alıcı tabanlı yönlendirme protokollerinin değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Tez kapsamında mevcut alıcı tabanlı protokoller incelenerek, bu algoritmaların çoklu-ortam servisleri için uygunluğu tartışılmıştır. Bu inceleme sonucunda alıcı tabanlı protokollerden, Contention Based Forwarding (CBF), Location Aided Routing (LAR) ve Receiver-based Opportunistic Forwarding (ROF) olmak üzere üç tanesi seçilerek benzetim ortamında gerçekleştirilmiş ve başarımları değerlendirilmiştir. Karşılaştırma amacı ile de gönderici tabanlı Greedy Forwarding (GF) protokolü gerçekleştirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, alıcı tabanlı protokollerin gönderici tabanlı GF protokolüne göre hem şehiriçi hem de otoyol senaryolarında paket dağıtım oranı açısından daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Alıcı tabanlı protokoller arasında ise LAR protokolü diğer protokollere göre daha yüksek başarı göstermektedir. Benzetimler sırasında alıcı tabanlı protokoller ile ilgili iki önemli durum tespit edilmiştir. Bunlardan birincisi alıcı tabanlı protokollerin, GF protokolüne göre daha yüksek uçtan uca paket gecikme değerleri üretmesidir. İkinci durum ise beklenildiğinin aksine alıcı tabanlı protokollerin paket üretim oranı açısından GF protokolüne göre daha yüksek değerlere ulaşmasıdır. Alıcı tabanlı protokoller ile ilgili bu iki durumu oluşturan temel neden, bu protokoller kapsamında paket iletiminde kullanılan zaman aşımı mantığına dayalı mekanizmalardır. Bu mekanizmaların geliştirilmesi, alıcı tabanlı protokollerin başarımlarının daha da artmasını sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Araçlar arası haberleşme, Akıllı ulaşım sistemleri, Coğrafi yönlendirme, Coğrafi ağlar, Alıcı tabanlı, Gönderici tabanlı, Otoyol, Şehiriçi

**PERFORMANCE EVALUATION OF RECEIVER BASED ROUTING PROTOCOLS
FOR INFOTAINMENT SERVICES IN VANETS**

Z. Cihan TAYŞI

Department of Computer Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Assis. Prof. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Intelligent Co-operative Systems are the next big challenge in automotive electronics and Intelligent Transportation Systems (ITS). Intelligent Co-operative Systems, that are based on Inter-Vehicle Communication (IVC), hold the promise of great improvements both in the efficiency of the transport systems and in the safety of all road users. Intersection collision avoidance, lane keeping, and motion control are just a few of safety applications emerging after the development of IVC systems. Intelligent Co-operative Systems also offer traffic efficiency applications, such as automated highways, toll systems, group motion control, route optimization, adaptive acceleration and speed limiters where vehicles individually or co-operatively regulate their motion, adjusting their velocity and heading in response to others nearby and to the changes in the environment.

Traffic safety and efficiency applications require the delivery of the packets generated by a vehicle to nearby vehicles in a timely manner. Routing protocols used in wired networks are not applicable for these types of networks. Thus, geographic routing protocols which use position information are required to perform routing in such networks.

Recent advances in IVC systems enable the use of these systems for infotainment services besides traffic efficiency and safety applications. However, routing requirements of such services are different from the requirements of traffic efficiency

and safety applications. Thus, in order to provide infotainment services over IVC systems, geographical routing protocols must be modified.

In this thesis, we examined the existing geographical routing protocols which are categorized in two classes as *sender-based* and *receiver-based*. Although the existing research and standards mostly use the sender-based approach, it is also stated that the receiver-based approach must be carefully examined. In this thesis, we surveyed existing receiver-based routing protocols and examined the applicability of these protocols for the infotainment services. After a careful examination, we chose three receiver-based protocols; Contention Based Forwarding (CBF), Location Aided Routing (LAR), and Receiver-based Opportunistic Forwarding (ROF). These protocols are implemented in a simulation environment and then their performance are compared with sender-based Greedy Forwarding (GF) protocol.

During our simulations, it is clearly seen that receiver-based protocols perform better than the GF protocol in both city and highway scenarios. Among the receiver-based protocols, LAR protocol has the highest performance. During our simulations, we observed two anomalies about the receiver-based protocols. First, they have higher end-to-end packet delays compared to GF protocol. Second, to the contrary of the expectations, receiver-based protocols generate higher number of extra packets than the GF protocol. The reason for these two anomalies stems from the back-off timer mechanisms, which are used for relaying packets. Development of new mechanism for receiver-based protocols will improve the performance of receiver-based protocols.

Key words: Inter-Vehicle Communication, Intelligent Transportation Systems, Geographic Routing, Receiver-based, Sender-based, Highway, City

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transportation Systems, ITS) kapsamındaki en önemli araştırma konularından biri Akıllı Yardımcı Sistemler (Intelligent Co-operative Systems, ICS) 'dir. Araçlar Arası Haberleşme (Inter Vehicle Communication, IVC) üzerine kurulu ICS'ler, trafikte verimliliği ve sürüş emniyetinin arttırılmasında kilit önem arz etmektedirler. Kavşaklarda kazaların engellenmesi, şerit korunması ve hareket kontrolü IVC sistemlerinin geliştirilmesi ile ortaya çıkmış olan çok sayıdaki emniyet uygulamalarından sadece birkaçıdır. Ayrıca ICS'ler sayesinde, otomatik sürüş özelliğine sahip otoyollar, geçiş sistemleri, araç gruplarının hareket kontrolü, rota iyileştirilmesi ve çevresel faktörlere göre araç hızının ve yönünün korunması ve/veya değiştirilmesi gibi uygulamalar da geliştirilmektedir.

Trafik verimliliği ve sürüş emniyeti uygulamalarının temelinde bir araç tarafından üretilen bilginin belirli bir süre içerisinde kendisine belirli bir mesafede olan diğer araçlara aktarılması gerekmektedir. Geleneksel ağlarda kullanılan yönlendirme protokolleri bu işlemin gerçekleştirilmesi için yeterli değildir. Bu şekilde bir yönlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için konum bilgisinin ve konum bilgisine ait yönlendirme kriterlerinin kullanıldığı coğrafi yönlendirme protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır.

IVC sistemlerinin zaman içerisinde gelişmesi, bu sistemlerin sürüş emniyeti ve trafik verimliliği uygulamalarının yanı sıra, Internet erişimi dolayısıyla Internet üzerinden erişilen tüm çoklu-ortam servisleri için de kullanılmasına imkan sağlamıştır. Ancak trafik verimliliği ve sürüş emniyeti uygulamaları ile çoklu-ortam uygulamaları arasında çeşitli yapısal farklar bulunmaktadır. Dolayısıyla IVC üzerine kurulu ağlarda çoklu-ortam

servislerinin verilebilmesi için kullanılan coğrafi yönlendirme protokollerinin bu uygulamaların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

Tezin 2. bölümünde Car-2-Car Communication Consortium (C2C-CC)'dan ve C2C-CC tarafından oluşturulan haberleşme mimarisinden bahsedilmektedir. Ayrıca C2C-CC haberleşme mimarisinin gerçekleşmesine yönelik olarak başlatılan GeoNet projesinin detaylarından bahsedilmektedir. 3. bölümde ise C2C-CC haberleşme mimarisi ve GeoNet projesinin çıktıları kullanılarak European Telecommunications Standards Institute (ETSI) tarafından oluşturulan standarttan bahsedilmiştir. 4. bölümde ETSI standardı kapsamında kullanılacak olan coğrafi yönlendirme protokolünün sağlaması gereken özellikler tanımlanarak, literatüre girmiş olan IVC coğrafi yönlendirme protokolleri bu özelliklere bağlı olarak değerlendirilmiştir. 5. bölümde başarımlar değerlendirilmesi yapılacak olan protokollerin benzetim ortamında gerçekleşmesinde kullanılacak olan sistemin detayları verilmiştir. Coğrafi yönlendirme protokollerinin, benzetim ortamında gerçekleşmesine ait detaylar ve bu protokollerin başarımlarına ait sonuçlar Bölüm 6'da verilmiştir. Coğrafi yönlendirme protokollerinin gerçekleşmesinde kullanılacak olan benzetim ortamının seçimine ilişkin detaylı bilgi EK-A'da verilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

IVC üzerine kurulu ICS'ler hem ulaşım sistemlerinin veriminin artırılması hem de kullanıcıların güvenliğinin sağlanması konusunda gelişimin anahtarı konumundadır. IVC sistemlerinin kullanılabileceği emniyet uygulamalarına örnek olarak, kavşaklarda kazaların önlenmesi, şerit korunması ve hareket kontrolü gösterilebilir. IVC sistemleri kontrollü otobanlar, ücretli geçiş sistemleri, rota iyileştirmesi, çevredeki araçların durumlarına bağlı olarak hız ve yön değişikliği yapabilen araç gruplarının oluşturulması gibi trafik verimliliği uygulamalarında da kullanılabilmektedir.

ITS'ler üzerine ilk çalışmalar 1980'li yılların başlarında Japonya'da Association of Electric Technology for Automobile Traffic and Driving (JSAE) tarafından gerçekleştirilmiştir[1]. Amerika Birleşik Devletlerindeki araştırmalar ise 1986 yılında California PATH isimli proje ile başlamıştır[2]. California PATH projesi Berkeley Üniversitesi ve Kaliforniya Ulaşım Dairesi tarafından oluşturulmuştur. Projenin temel

amacı gruplar halinde ilerleyebilen araç filolarının oluşturulması ile ilgili problem ve sıkıntıların tespit edilmesidir.

Öte yandan Avrupa Birliği (AB) akıllı ulaşım sistemleri üzerine ilk araştırmalar 1990'ların sonunda CHAUFFEUR [3] isimli bir proje ile başlamıştır. Projenin başlatılma amacı, Avrupa çapında artış gösteren yük taşımacılığının verimli hale getirilmesidir. Proje kapsamında yük taşımacılığında kullanılan kamyon, tır ve benzeri araçların grup halinde hareket edebilmesine imkan sağlayacak sistemlerin oluşturulması planlanmıştır. Proje sonucunda iki kamyonu birbirine elektronik olarak ilişkilendiren video algılayıcıları üzerine kurulu bir sistem kurulmuştur.

Daha sonra, 2001 yılında AB komisyonunun 5. Çerçeve programı kapsamında finanse edilen CarTALK 2000 [4] isimli üç yıllık bir proje başlatılmıştır. Projenin temel hedefi yardımcı sürüş sistemleri ve kendi kendine organize olabilen (self-organizing) tasarsız (ad-hoc) yapıda bir haberleşme ağının oluşturulmasıdır. Oluşturulan ağın ilerleyen dönemlerde bir standardın temellerini oluşturması hedeflemiştir. CarTALK 2000 projesi özellikle Almanya'da geliştirilen FleetNet [5] projesi ile çeşitli alanlarda beraber çalışmıştır.

2001 yılında AB komisyonu, otomobil endüstrisi ve diğer paydaşların da (stake holders) katılımı ile 40 uzmandan oluşan eSafety Working Group olarak isimlendirilen bir çalışma grubu kurmuştur. Bu grubun amacı, Avrupa genelinde Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) ve benzeri yol emniyetine yönelik akıllı sistemlerin araştırma, geliştirme ve kullanımının hızlandırılmasına ilişkin stratejilerin belirlenmesidir. Bu grubun tavsiyesi üzerine 2002 yılında yol güvenliğinin tüm paydaşlarının biraraya getirilmesi için eSafety Forum isimli bir yapı oluşturulmuştur.

Bu süre zarfında büyük otomobil üreticileri araçlar arası haberleşmeye yönelik yatırımlar yapmışlardır. Bu üreticilerden Audi, BMW, Daimler Chrysler, Fiat, Renault ve Volkswagen, Car-2-Car Communication Consortium (C2C-CC) isimli kar amacı gütmeyen bir yapı oluşturmuşlardır[6]. Bu yapının temel amacı araçlar arası haberleşmeden faydalanılarak sürüş emniyetinin ve trafik veriminin artırılmasıdır.

AB komisyonu 2006 ile 2010 yılları arasında IVC'nin değişik yönleri ile ilgili araştırmalar yapılması için çeşitli projeler başlatmıştır. Bu projelerden bazıları EVITA [7], iTETRIS [8],

PREVENT [9], SAFESPOT [10], SEVECOM [11], COOPERS [12], CVIS [13], PRE-DRIVE c2X [14], and GeoNet [15]'tir. C2C-CC bu projelerin çıktılarını kullanarak Avrupa kapsamında kullanılabilir açık bir endüstriyel standart yaratmayı hedeflemektedir.

Daha önce bahsedilen projelerden GeoNet 2008 yılında AB komisyonu tarafından başlatılmıştır. Projenin hedefi C2C-CC tarafından oluşturulan spesifikasyonların yazılımsal olarak gerçekleşmesi ve IPv6 ile entegrasyonunun sağlanmasıdır. GeoNet projesi 2010 yılı içerisinde tamamlanarak kapatılmış olsa da proje sonuç raporunda bazı konular açık bırakılmıştır. Bu konulardan en önemlileri C2C transport layer, çoklu telsiz desteği, çakışma kontrolü (congestion control), IPv6 kullanılarak coğrafi adresleme yapılması ve kullanılacak olan coğrafi yönlendirme algoritmasıdır.

GeoNet projesi tarafından oluşturulan spesifikasyonlar, coğrafi ağ protokol katmanının tanımlandığı ETSI TS 102 636-4-1 ("Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality) [16] ve IPv6'nın coğrafi ağ protokolü üzerinde kullanımının tanımlandığı ETSI TS 102 636-6-1 ("Internet Integration; Sub-part 1: Transmission of IPv6 Packets over GeoNetworking Protocols") [17] standartlarında kullanılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tez kapsamında GeoNet mimarisindeki C2CNet katmanı içerisinde yer alan coğrafi yönlendirme modülünün iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Tez kapsamında IVC uygulamaları ve çoklu-ortam servislerinin yönlendirme ihtiyaçları ortaya konulmuş, mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin detaylı bir şekilde incelenerek GeoNet mimarisine uygunlukları tartışılmıştır. Bu inceleme sonucunda özellikle çoklu-ortam servislerinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek yeni bir coğrafi yönlendirme modülü oluşturulmuştur.

1.3 Hipotez

GeoNet kapsamında kullanılan coğrafi yönlendirme katmanı bünyesinde gönderici tabanlı bir coğrafi yönlendirme protokolü kullanılmaktadır. Bu tip protokollerin, veri paketlerini iletebilmek için komşu düğümler hakkında bilgiye sahip olmaları gerekmektedir. Bunun için her düğüm komşularına periyodik olarak işaret paketleri (beacon) göndermektedir. Bu tip paketlerin gönderimi özellikle düğüm yoğunluğunun

yüksek olduğu ortamlarda paket çakışmalarına ve dolayısıyla veri iletiminde problemlere neden olabilir. Benzer şekilde düğüm yoğunluğunun düşük olduğu ortamlarda ise veri paketinin iletileceği daha iyi bir komşu düğümün bulunamamasına neden olabilir.

Bu sebeplerle, coğrafi yönlendirme katmanı bünyesinde alıcı tabanlı bir coğrafi yönlendirme protokolünün kullanılması yukarıda bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırarak, daha yüksek başarılı veri iletimi sağlaması beklenmektedir.

CAR-2-CAR COMMUNICATION CONSORSIUM

C2C-CC, AB ve eSafety Forumu ile beraber Avrupa çapında IVC sistemlerinde kullanılacak standartların tanımlanmasına destek olmaktadır. C2C-CC, 2007 yılında bir bildiri yayınlayarak kendisi tarafından geliştirilen veya tanımlanan kavram ve teknolojileri ortaya koymuş ve bir standart oluşturulması yolunda bu kavram ve teknolojileri kilometre taşı olarak tanımlamıştır.

2.1 C2C-CC Mimarisi

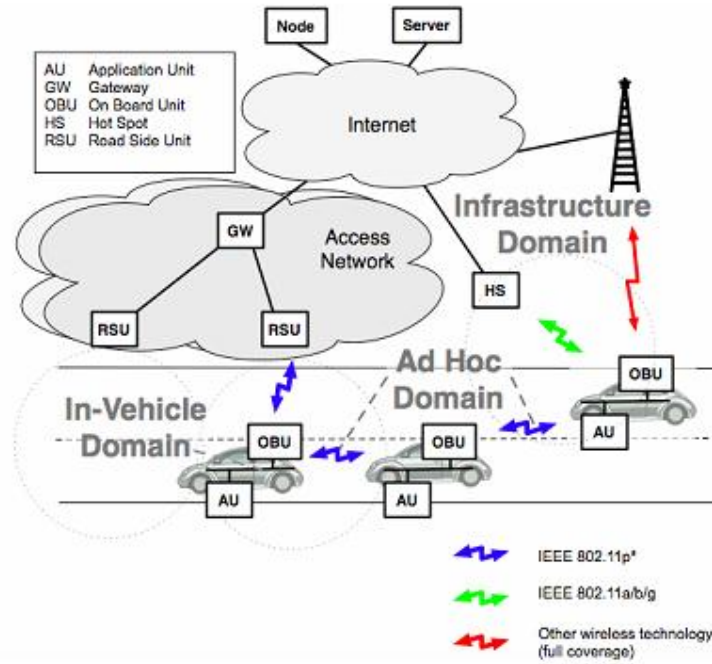
C2C-CC tarafından C2C haberleşme sistemine ait taslak referans mimarisi Şekil-2.1'te verilmiştir. Bu referans mimarisi, araç-içi, tasarsız ve altyapı (infra-structure) olmak üzere üç ayrı alan içermektedir.

Araç-içi alan bir adet On-Board Unit (OBU) ve bir veya daha fazla Application Unit (AU)'lerden oluşmaktadır. AU'lar genellikle bir veya bir grup uygulamayı yerine getiren ve OBU'nun haberleşme yeteneklerini kullanan cihazlardır. Bir AU aracın bir parçası olup OBU ile sürekli olarak bağlantı halinde olabileceği gibi bir PDA, laptop veya oyun konsolu gibi taşınabilir bir cihaz da olabilir.

Tasarsız alan üzerlerinde OBU olan araçlar ve yol boyunca yerleştirilmiş olan sabit Road-Side Unit (RSU)'lardan oluşmaktadır. Her OBU üzerinde en az bir adet yol emniyeti için kullanılmak üzere kısa mesafe telsiz haberleşme cihazı bulunmaktadır. OBU üzerinde değişik amaçlar için kullanılan haberleşme cihazları da bulunabilmektedir. Araçlar üzerinde bulunan OBU'lar merkezi bir yapıya ihtiyaç duyulmadan kendi aralarında haberleşmelerini sağlayan bir MANET oluşturabilirler.

OBU'lar kapsama alanındaki diğer OBU'lar ile direk olarak haberleşebilirler. Bir OBU, kapsama alanında olmayan diğer bir OBU ile, yapısındaki yönlendirme protokolü sayesinde, çoklu atlamalı haberleşme kullanarak haberleşebilir. RSU'ların öncelikli görevleri özel uygulamalar kullanarak yol emniyetine katkıda bulunmalarıdır. Bunun yanında RSU'lar, tasarsız alandaki veri paketlerini aktararak tasarsız ağıın kapsamının genişlemesini sağlamak için de kullanılmaktadır.

Altyapı alanı, RSU'ların özel ağlara veya Internete erişmesini sağlayan geleneksel ağları simgelemektedir. Bu şekilde OBU'lar RSU'lar üzerinden altyapı alanına erişebilirler. Bu yapı kullanılarak OBU ile bağlantı halinde olan bir AU'nun Internet üzerindeki herhangi bir düğüm ile haberleşmesi mümkündür.



Şekil 2.1 C2C-CC Mimarisi [6]

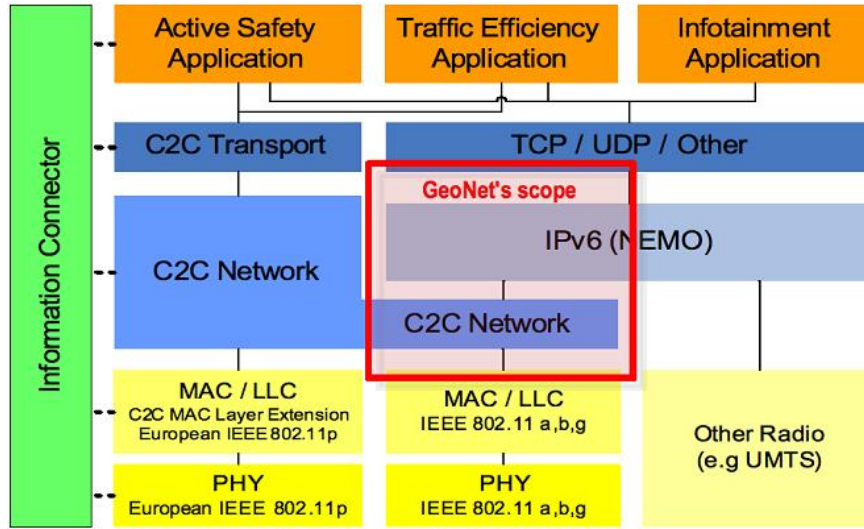
2.2 GeoNet Projesi

IVC sistemleri, trafik emniyeti ve verimliliği uygulamalarının yanısıra çoklu-ortam servisleri için de kullanılabilir. GeoNet projesi ile hem IPv6 haberleşmelerinin hem de araçlar arası diğer haberleşmelerin gerçekleştirilmesine imkan sağlayacak haberleşme mimarisinin oluşturulmasını hedeflenmektedir. Bu şekilde, IP tabanlı mevcut servislerin C2C-CC mimarisine adapte edilmesi sağlanacaktır.

Bunun için oluşturulan yapının kapsamı ve bu yapının içerisinde yer alan modüllere ait detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

2.2.1 GeoNet Kapsamı

GeoNet projesinin kapsamı, C2C Haberleşme mimarisi içerisinde yer alan C2CNet katmanı ile IPv6 katmanı arasında yer almaktadır (Şekil 2.2). C2C-CC mimarisinde, IPv6 katmanı C2CNet katmanı üzerinden çalışmaktadır. C2CNet katmanı IP katmanı içerisindeki bir alt katman gibi davranmaktadır.

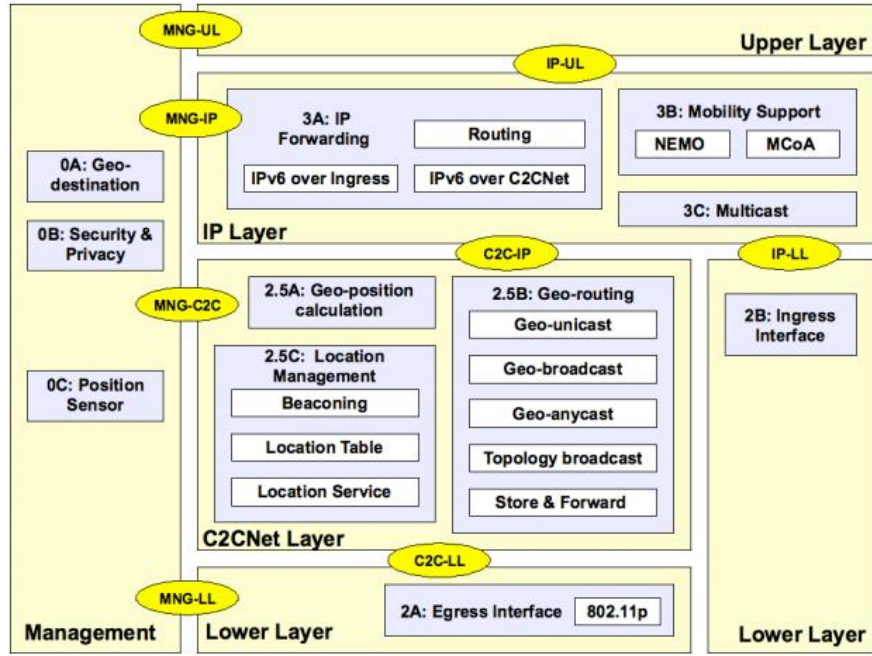


Şekil 2.2 GeoNet projesinin C2C-CC mimarisindeki kapsamı [18]

2.2.2 GeoNet Modülleri

Şekil 2.3'te Geonet projesi kapsamında oluşturulan haberleşme yapısına ait modüller ve bu modüller arasında bilgi alışverişini sağlayan Service Access Point (SAP)'lere ait blok diyagram verilmiştir. GeoNet kapsamında tanımlanan modüller ve SAP'lar MAC katmanı, C2CNet katmanı ve IPv6 katmanlarına yayılmıştır.

Bu modüllerden C2CNet katmanı içerisinde yer alan, *coğrafi konum hesaplama*, *konum yönetimi* ve *coğrafi yönlendirme modülleri* coğrafi yönlendirmenin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 2.3 GeoNet projesinin C2C-CC mimarisindeki kapsamı[18]

Coğrafi konum hesaplama modülü. Coğrafi yönlendirme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için ağ içerisinde yeralan tüm düğümlerin kendi konum bilgilerine erişebilmeleri gerekmektedir. C2CNet katmanında kaynak ve hedef düğümlere ait konum bilgisi farklı şekillerde ifade edilmektedir. Hedef düğümün konumu, enlem ve boylam ikilisi kullanılarak ifade edilirken, kaynak düğümün konumunu ifade etmek için enlem, boylam, yükseklik, yön ve hız bilgileri kullanılmaktadır. Bu bilgilerin oluşturulabilmesi için Global Navigation Satellite System (GNSS) algılayıcısından gelen bilginin filtrelenmesi gerekmektedir. Tüm bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için GeoNet kapsamında coğrafi konum hesaplama modülü tanımlanmıştır. Bu modül aynı zamanda iki düğüm arasındaki uzaklığın hesaplanması işlemini de gerçekleştirmektedir. Bu işlem için dünyanın yuvarlaklığının da gözönüne alındığı Haversine[18] formülünden faydalanılmaktadır.

Konum yönetimi modülü. Her düğümün kendi konumunu ve kendisine komşu diğer düğümlere ait konum bilgisini tuttuğu bir konum tablosu bulunmaktadır. Düğümün kendi konum bilgisi ilgili algılayıcılar sayesinde güncellenerek tutulmaktadır. Komşu düğümlere ait konum bilgisinin toplanmasında ise iki yöntemden faydalanılmaktadır.

Bunlardan birincisi gelen tüm paketlerin dinlenerek, paketlerin içerisindeki konum bilgisi ile konum tablosunun güncellenmesidir. Diğer bir yöntem ise işaret paketlerinin kullanılmasıdır. Bu yöntemde belirli aralıklarla gönderilen işaret paketleri ile komşulara ait konum bilgisi elde edilmektedir.

Çizelge 2.1 IPv6 ve C2CNet gönderim şekillerinin eşleştirilmesi [18]

Hedef Tanımı	IPv6 Katmanı	C2CNet Katmanı
Belirli bir araç içerisindeki düğüm	Teke gönderim	Coğrafi Teke gönderim
Belirli bir bölgedeki araçlar içerisindeki düğümler	Çoğa gönderim	Coğrafi Çoğa gönderim
n-adet atlama mesafesindeki araçlar içerisindeki düğümler	Çoğa gönderim	Yerel yayın (TopoBroadcast)
Belirli bir bölgedeki herhangi bir araç içerisindeki düğüm	Anycast	Coğrafi yayın

Coğrafi yönlendirme modülü. Yönlendirme kararları düğümlerin konum ve hareket bilgileri kullanılarak verilmektedir. Bu işlemde sorumlu olan coğrafi yönlendirme modülü kapsamında *GeoUnicast*, *GeoAnycast*, *GeoBroadcast*, and *Topo-Broadcast* olmak üzere 4 farklı gönderim şekli tanımlanmıştır. *GeoUnicast* bilginin bir kaynak düğümünden bir hedef düğüme yönlendirildiği gönderim şeklidir. *GeoAnycast* bilginin bir kaynak düğümünden belirli bir bölgede içerisindeki herhangi bir düğüme iletildiği gönderim şeklidir. *GeoBroadcast* ise bilginin bir kaynak düğümünden belirli bir bölge içerisindeki tüm düğümlere gönderildiği gönderim şeklidir. *Topo-Broadcast* ise bilgi kaynak düğümünden belirtilen sayıda atlama gerçekleştirilerek taşındığı gönderim şeklidir. Bir IPv6 paketi geldiğinde coğrafi yönlendirme modülü yukarıda açıklanan dört gönderim şeklinden uygun olanını seçerek paketi bir sonraki düğüme aktarır. IPv6 ve

coğrafi yönlendirme modülüne ait gönderim şekillerinin eşleştirilmesi Çizelge 2.1’de verilmiştir.

BÖLÜM 3

ETSI STANDARDI

ETSI, AB kapsamında kullanılmak üzere sabit ve hareketli telsiz haberleşmeleri ve Internet teknolojilerini kapsayan standartlar üretmektedir. ETSI, trafik bilgi sistemleri, coğrafi yönlendirme ve ITS uygulamalarının da içerisinde bulunduğu çeşitli konularda spesifikasyonları belirlemektedir.

Coğrafi yönlendirme protokolü, paketlerin coğrafi konum bilgisi kullanılarak aktarımını sağlayan bir ağ protokolüdür. Coğrafi yönlendirme protokolleri, paketlerin araçlar ve istasyonlar arasında olduğu gibi coğrafi konumlara da taşınmasına imkan verir. Coğrafi yönlendirme işlemi, ITS-G5 ve kızılötesi gibi çeşitli kısa mesafe telsiz haberleşme teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu teknolojiler yer yer benzerlik göstermekle beraber farklılıklara da sahiptirler. Tekrar kullanılabilirliği sağlamak adına coğrafi yönlendirme protokollerine ait işlevler *ortam bağımsız* ve *ortam bağımlı* olarak ikiye bölünmüştür. Ortam bağımsız işlevler, ITS teknolojilerinde kullanılan tüm kısa mesafeli telsiz haberleşme teknolojilerini kapsar. Öte yandan ortam bağımlı işlevler, belirli bir ITS teknolojisi için ortam bağımsız işlevlerin geliştirilmiş halini içerir.

ETSI coğrafi yönlendirmenin tanımlanması için ETSI TS 102 636 nolu belgeler ailesini yayınlamıştır. Coğrafi yönlendirme katmanının (CYK) temeli ETSI TS 102 636-4-1 [16] isimli belgede tanımlanmaktadır. Tez kapsamında ETSI tarafından tanımlanmış olan bu standarda uygun bir CYK oluşturulması ve bu CYK kapsamındaki yönlendirme modülünün iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

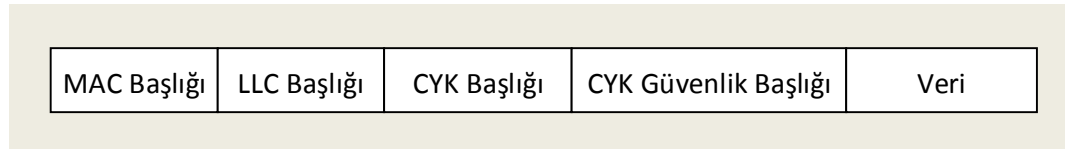
Bu bölüm kapsamında, ETSI TS 102 636-4-1 nolu dokümanda tanımlanmış olan coğrafi yönlendirme katmanının bileşenleri hakkında genel bilgi verilmektedir.

3.1 Paket tipleri

ETSI tarafından tanımlanan CYK çerçevesinde, GeoUnicast, Topologically Scooped Broadcast (TSB), Single Hop Broadcast (SHB), GeoBroadcast, GeoAnycast, Beacon, Location Service Request (LS Request) ve Location Service Reply (LS Reply) olmak üzere 8 farklı paket tipi oluşturulmuştur[16]. Bu paketlerin yapıları ve kullanım şekillerine ait genel bilgi aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Ortak Paket Yapıları

CYK kapsamında kullanılan paketlerin genel yapısı Şekil 3.1’ de verilmiştir. Şekilde belirtilen MAC başlık kısmı kullanılan haberleşme teknolojisine göre farklılıklar gösterebilmektedir. CYK Başlığı Şekil 3.2’te açıklandığı üzere 2 parçadan oluşmaktadır. CYK güvenlik başlığı opsiyonel olup, kullanım detayları yine ETSI tarafından tanımlanmış olan TS 102 636-4-1 dokümanında açıklanmaktadır. Paketin son kısmında taşınması hedeflenen verinin olduğu kısım vardır. İşaret paketlerinde veri kısmı boş bırakılmaktadır.



Şekil 3.1 CYK kapsamında kullanılan paketlerin genel yapısı [16]

CYK başlığı yukarıda da belirtildiği üzere, *ortak başlık* ve *genişletilmiş başlık* olarak iki kısımdan oluşur. Ortak başlıkta paketi üreten donanıma ait bilgiler, cihaz üzerindeki yazılımın versiyonu, sonraki başlığın tipi ve paketi ileten düğümün konum bilgisi gibi bilgiler bulunmaktadır. Genişletilmiş başlıkta ise paket tipine bağlı olarak değişmek ile birlikte paketi üreten düğümün konum bilgisi, hedef düğüm veya konuma ait konum bilgisi, paketin ömrü gibi bilgiler yer almaktadır.



Şekil 3.2 CYK başlığının yapısı [16]

3.2 Servisler

Tanımlanan coğrafi yönlendirme katmanı yapısında herbiri çeşitli görevleri yerine getiren servisler mevcuttur. Bu servisleri Konum ve Zaman bilgisinin güncellenmesi, İşaret verme (Beaconing), Konum bulma (Location Service) ve Paket işleme (Packet Handling) olarak isimlendirilmektedir.

3.2.1 Konum ve Zaman Bilgisinin Güncellenmesi

ETSI tarafından tanımlanan standart kapsamında, konum bilgisinin ve zaman senkronizasyonunun sağlanmasından bir üst katmanda yer alan ITS Network ve Transport Layer Management modülü sorumludur. Standart kapsamında belirlenmiş olan sürede konum ve zaman bilgisi bu modül tarafından güncellenmekte ve coğrafi yönlendirme katmanına aktarılmaktadır.

3.2.2 İşaret Verme

İşaret paketleri bir aracın konum bilgisinin o aracın komşularına periyodik olarak gönderilmesi için kullanılmaktadır. İki işaret paketi arasında, aracın başlığında kendi konum bilgisinin taşıyan herhangi bir paket göndermesi durumunda, işaret paketi için kullanılan zamanlayıcı sıfırlanır.

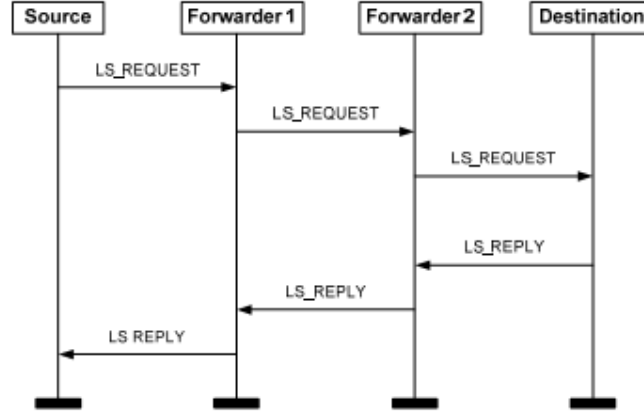
3.2.3 Konum Bulma

Konum bulma servisi, bir aracın diğer bir aracın konumunu belirlemesi gerektiğinde kullanılır. Bir aracın diğer bir araca GeoUnicast paketi göndermesi gerektiğinde, öncelikle konum bilgisi tablosuna bakılır. Eğer bu tabloda paketin gönderileceği araca ait konum bilgisi bulunmuyor ise bir konum bulma isteği oluşturulur. Oluşturulan bu paket hedef araca ulaşana kadar ara araçlar tarafından iletilir. Hedef araç tarafından oluşturulan bir konum bulma cevabı ara araçlar tarafından aynı şekilde kaynak araca geri iletilir.

3.2.4 Paket İşleme

CYK kapsamında tanımlanan paket tiplerinin herbirinin işlenmesi için ayrı adımlar tanımlanmış olsa da yapılan işlemleri genel olarak ortak başlığın işlenmesi, paket geçerliliğinin kontrol edilmesi, paket başlığındaki kaynak, gönderici ve hedef düğümlere

ait konum bilgilerinin değerlendirilmesi, paket için bir sonraki atlama düğümünün belirlenmesi şeklinde özetlenebilir. Bu işlemlerin detaylarına ETSI TS 102 636-4-1 [16] nolu dokümandan ulaşılabilir.



Şekil 3.3 Konum Bulma servisinin çalışmasına yönelik örnek[16]

3.3 Paket Yönlendirme Algoritmaları

Standart kapsamında farklı amaçlara yönelik olarak oluşturulmuş 8 farklı paket tipi bulunmaktadır. Bu paketlerin kullanım amaçlarına bağlı olarak ağ üzerinde iletimlerinin sağlanması için farklı yönlendirme algoritmaları kullanılmaktadır. GeoUnicast ve LS paketlerinin iletiminde Greedy Forwarding (GF) veya Contention Based Forwarding (CBF) algoritmalarından biri, TSB, SHB, GeoBroadcast ve GeoAnycast, paketlerinin iletiminde ise CBF ve Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB) tabanlı algoritmalar kullanılmaktadır.

Tez kapsamındaki temel odak noktası GeoUnicast paketlerinin aktarımıdır. Bu yüzden bu bölümde standart kapsamında belirlenen GF ve CBF yönlendirme algoritmaları açıklanacaktır.

3.3.1 GF

GF algoritması, Most Forward within the Radius (MFR) yöntemine dayanmaktadır. Kaynak düğüm, haberleşme kapsamı içerisinde bulunan ve hedefe en yakın olan düğümü paketin iletilmesi için seçer. Eğer hedefe daha yakın bir düğüm bulunamaz ise, paket yerel bir maksimuma ulaşmıştır.

```

-- P is the GeoUnicast packet to be forwarded
-- i is the i-th LocTE
-- NH is the LocTE identified as next hop
-- NH_LL_ADDR is the link layer address of the next hop
-- LPV is the local position vector
-- PVp is the destination position vector in the GeoNetworking packet to be forwarded
-- PVi is the position vector of the i-th LocTE
MFR = DIST(PVp, LPV)
FOR (i ∈ LocT)
  IF (i.IS_NEIGHBOUR) THEN
    IF (DIST(PVp, PVi) < MFR) THEN
      NH ← i
      MFR ← DIST(PVp, PVi)
    ENDIF
  ENDIF
ENDFOR
IF (MFR < DIST(PVp, PVLPV)) THEN
  SET NH_LL_ADDR = NH_LL_ADDR
ELSEIF
  LOCAL OPTIMUM
  SET NH_LL_ADDR = 0
ENDIF

```

Şekil 3.4 GF algoritmasının çalışmasını anlatan pseudo kod [16]

3.3.2 CBF

CBF algoritmasında, GF algoritmasının tersine paketin kimin tarafından iletileceğine alıcı düğümler karar verir. CBF algoritmasında, alıcı düğümler paketleri belirli bir zaman sonra tekrar broadcast ederek, paketlerin iletimi sağlarlar. Alınan paketin ne zaman iletileceğinin hesaplanmasına ilişkin formül Eşitlik 3.1’de verilmiştir. Eğer alıcı düğüm kendisi paketi iletmeden önce başka bir düğümün paketi ilettiğini duyarsa, kuyrukta beklettiği bu paketin gönderimini iptal eder. CBF algoritmasının çalışma şekli Şekil 3.5’te pseudo kod olarak verilmiştir.

$$t = \begin{cases} t_{\min} + \frac{t_{\max} - t_{\min}}{R} xD & , D \leq R \\ t_{\min} & , D \geq R \end{cases} \quad (3.1)$$

$t_{\min}$ alınan paketin düğümün tampon alanında kalacağı en kısa süreyi, $t_{\max}$ ise paketin düğümün tampon alanında kalabileceği en uzun süreyi göstermektedir. R değişkeni ise kullanılan haberleşme teknolojisinin teorik maksimum haberleşme alanını ifade etmektedir.

```

-- P is the GeoUnicast packet to be forwarded
-- LPV is the local position vector
-- PV_P is the destination position vector in the GeoNetworking packet
--   to be forwarded
-- B is the CBF packet buffer
-- TO is the timeout that triggers the re-broadcast of the packet
-- NH_LL_ADDR is the LL address of the next hop
-- BCAST is the broadcast LL address

IF (P IN B) THEN                                # Contending
    REMOVE P FROM B
    STOP TIMER
ELSE                                              # New packet
    ADD P TO B
    SET DIST = DIST(PV_P, LPV)
    SET TO                                          # Equation 1
    START TIMER(TO)
ENDIF

IF (TIMER(TO) EXPIRES) THEN
    FETCH P FROM B
    IF (LocT IS EMPTY) THEN
        SET NH_LL_ADDR = 0                        # No neighbors
    ELSE
        SET NH_LL_ADDR = BCAST
    ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

Şekil 3.5 CBF algoritmasının çalışmasını anlatan pseudo kod [16]

COĞRAFI YÖNLENDİRME

Coğrafi yönlendirme temel olarak coğrafi konum bilgisinin kullanıldığı yönlendirme yöntemidir. Konvansiyonel ağlarda kullanılan yönlendirme algoritmaları bir mesajın bir düğümden diğerine gönderilmesi için yönlendirme tabloları ve adres bilgisinden faydalanır. Coğrafi yönlendirmede ise bir mesajın hedef düğüme gönderilmesi için, hedef düğümün pozisyon bilgisi kullanılmaktadır. Coğrafi yönlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için iki temel özelliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan birincisi her düğümün kendi konum bilgisini belirleyebilme yetisi, diğeri ise kaynak düğümün hedef düğümün konum bilgisine sahip olabilmesidir. Bu şekilde bir paketin kaynak düğümden hedef düğüme ağ topolojisi bilinmeden ve yön keşfi yapılmadan coğrafi olarak yönlendirilebilmesi mümkündür.

Araçlar arasında oluşturulan ağlar, araçların çoğunlukla hareket halinde olması nedeniyle oldukça dinamik bir topolojiye sahiptirler. Dolayısıyla ağ içerisindeki düğümlerin ağ topolojisinin güncel halini elde etmeleri için, düğümler arasında oldukça yoğun bir haberleşme gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum ağ üzerinde fazladan paket trafiği oluşmasına neden olacak ve ağda tıkanıklıklar oluşturacaktır. Bu durum konvansiyonel ağlarda kullanılan yönlendirme protokollerinin bu tip ağlarda yetersiz kalmasına neden olmaktadır.

Yeni nesil araçlarda bulunan GPS sistemi sayesinde bir aracın kendi konum bilgisini belirli bir hassasiyette elde edebilmesi mümkündür. Bu sistem, konum bilgisi sağlamanın yanında dağıtık sistemler olan araçlar arasında zaman senkronizasyonunun sağlanmasına da imkan verecektir.

Bu bölümde IVC kapsamında hem emniyet hem de bilgi-eğence uygulamaları için kullanılmak üzere geliştirilmiş olan coğrafi yönlendirme algoritmaları incelenmiştir. Önceki bölümlerde açıklandığı üzere GeoNet projesi kapsamında gönderici tabanlı GF yönlendirme algoritması tercih edilmiştir. Ancak projenin çıktılarında alıcı tabanlı yönlendirme algoritmalarının da bir alternatif olduğu ve değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Benzer şekilde [19] nolu çalışmada yazarlar, coğrafi konum bilgisinin IPv6 adreslerin içerisine gömülerek ve alıcı tabanlı bir yönlendirme algoritması kullanılarak bilginin tekrarının engellenebileceğini göstermiştir.

4.1 İhtiyaç Duyulan Coğrafi Yönlendirme Protokolünün Özellikleri

GeoNet projesi ile IPv6 ve coğrafi yönlendirme kullanılarak hem trafik verimliliği ve trafik emniyeti uygulamaları hem de çoklu-ortam uygulamalarına uygun bir mimari sağlanması hedeflenmektedir. Bu bölümde hem standart IVC uygulamalarının hem de çoklu-ortam servislerinin yönlendirme ihtiyaçları belirlenmiştir. Yönlendirme ihtiyaçları Haberleşme Kapsamı, Haberleşme Yönü, Veri Aktarım Hızı ve Gecikmesi, Veri Dağıtım Modeli ve Adresleme başlıkları altında incelenmiştir[20].

4.1.1 Haberleşme Kapsamı

Geleneksel IVC uygulamalarının haberleşme kapsamı, alıcı ve göndericinin yakın coğrafi konumlarda bulunduğu tek veya çok atlamalı senaryolardan oluşmaktadır. Öte yandan IPv6 ve coğrafi yönlendirmenin kullanımı Internet bağlantısı imkanı sunmakta ve haberleşme kapsamının genişlemesine imkan vermektedir. Bu kapsamda oluşabilecek haberleşme senaryolarını üç grupta inceleyebiliriz.

- 1) Göndericinin Internette olduğu senaryolar : Paketler hedef aracın olduğu coğrafi konuma hizmet veren RSU'ya kadar IP üzerinden gönderilir, daha sonra arada başka araçlar da kullanılarak hedef düğüme kadar coğrafi yönlendirme ile aktarılır.
- 2) Alıcının Internette olduğu senaryolar : Paketler coğrafi yönlendirme kullanılarak çevredeki araçlardan faydalanılarak bir RSU'ya gönderilir. Oradan da hedef adrese gönderilir.

3) Alıcı ve Göndericinin Internet üzerinden erişilebildiği senaryolar : Yukarıdaki her iki senaryonun birleşmesi ile oluşan senaryolardır. Bu senaryolar, alıcı ve göndericinin çoklu atlamalı haberleşme ile haberleşmelerinin mümkün olmadığı senaryolardır.

4.1.2 Haberleşmenin Yönü

Konvansiyonel IVC uygulamalarında mesajlar bir kaynak düğümden bir veya daha fazla hedef düğüme gönderilir. Mesajı alan düğümler, mesajın içeriğine bağlı olarak uygun şekilde hareket ederler. Bu tip uygulamalarda haberleşme yönü tek yönlü olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla, hedef düğümlerden kaynak düğüme bir geri bildirim olmaması nedeniyle ters yönde bir yol oluşturulmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Web sayfalarının gezilmesi, sesli görüşmeler vb. çoklu-ortam uygulamalarında ise her iki yönde de veri iletişiminin olması gerekmektedir. Bu yüzden her iki yönde de birer veri yolu oluşturulması gerekmektedir. Bunun sağlanması için tekli-yol oluşturma, çoklu-yol oluşturma vb. çeşitli yöntemler kullanılabilir.

4.1.3 Veri Aktarım Hızı ve Gecikmesi

Geleneksel IVC uygulamaları, özellikle emniyet ile ilgili uygulamalar, veri iletiminde ve veri gecikmesinde katı gerçek zamanlı gereksinimlere sahiptir. Öte yandan çoklu-ortam uygulamalarının veri iletimi ve veri gecikmesine ait gereksinimleri daha esnektir. Örneğin bir emniyet uygulamasında ani bir fren durumuna ait bilginin belirli bir süre içerisinde arkadan gelen araçlara aktarılabilmesi kazaya sebep olabilir. Öte yandan çoklu-ortam uygulamalarında veri paketlerinin geç aktarımı veya aktarılamaması sadece verilen servisin kalitesinin düşmesine neden olacaktır.

4.1.4 Veri Dağıtım Modeli

Trafik emniyeti ve verimliliği ile ilgili uygulamalar, küçük boyutlu veri paketlerinin iletilmesine dayanmaktadır. Bu tip uygulamalarda her paket birbirinden bağımsızdır. Öte yandan çoklu-ortam servislerinin birçoğu oturum tabanlıdır. Bu yüzden de bilginin doğruluğu ve sırasının korunmasına yönelik mekanizmalara ihtiyaç duyarlar. Örneğin bir dosya transferi işlemi, birbirine bağlı paketlerin bir noktadan başka bir noktaya taşınmasına, bir mesajlaşma uygulaması ise paketlerin doğru sıra ile iletilmesine ihtiyaç duyar.

4.1.5 Adresleme

Geleneksel IVC uygulamalarında hedef bir mesajın bir veya daha fazla atlama mesafesinde bulunan araç veya araçlara iletilmesidir. Bu yüzden bu tip uygulamalarda çoka gönderim, teke gönderim ve tüme gönderim yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Öte yandan, web sayfalarının gezilmesi, dosya transferi vb. çoklu-ortam uygulamalarında, yukarıda sayılan yöntemlerin yanı sıra, teke gönderim yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

4.2 Coğrafi Yönlendirme Protokollerinin Seçimi

Coğrafi yönlendirme için kullanılan çeşitli tek-yollu (single path), çok-yollu (multi-path) ve taşma tabanlı yöntemler mevcuttur. Tez kapsamında, ETSI standardına uyumluluk gözetildiğinden tek-yollu yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Tek-yollu yöntemleri, gönderici tabanlı ve alıcı tabanlı olmak üzere iki farklı gruba ayırmak mümkündür[20]. Bu çalışmada da önceki bölümlerde belirtilen senaryolar ve bu senaryolarda ihtiyaç duyulan özelliklere göre alıcı tabanlı yönlendirme protokollerinin başarımı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sırasında, GeoNet projesi kapsamında kullanılan GF gönderici tabanlı yönlendirme algoritmasının başarımı baz alınmıştır.

Vehicular Ad-hoc Network (VANET)'ler için öngörülen yönlendirme algoritmalarının birçoğu gönderici tabanlıdır. Gönderici tabanlı yönlendirme algoritmalarında, veriyi gönderecek olan düğüm, çeşitli yönlendirme kriterlerine göre, verinin iletileceği bir sonraki düğümü seçer. Düğümlerin devamlı hareket halinde olmasından ve düğüm yoğunluğunun yüksek olmasından ötürü, VANET tipindeki ağlarda, ağ yapısı devamlı değişiklik göstermektedir. Bu aynı zamanda gönderilen bir paketin karşı düğüm tarafından alınıp alınmadığının belirlenmesini de zorlaştırır.

Alıcı tabanlı yönlendirme özellikle hareketli algılayıcı ağlarda kullanılan bir yönlendirme yöntemidir. Alıcı tabanlı yönlendirme protokollerinde, gönderici düğüm, paketi iletecek düğümü aktif olarak seçmez. Bunun yerine gönderici düğümün komşuları, iletici düğümü yönlendirme protokolünün özelliğine bağlı olarak çeşitli kriterlere göre belirlerler. Alıcı tabanlı yönlendirme protokollerinde, gönderici ile alıcı arasında sürekliliği olan bir bağlantı oluşturulması gerekmez. Ayrıca göndericinin paket gönderirken komşuları hakkında ön bir bilgiye sahip olması gerekmez.

Hareketli algılayıcı ağlar, düşük hızda hareket eden düğümlerden oluşan yüksek düğüm yoğunluğuna sahip ağlardır. Bu ağlarda düğümler kendilerine ait bilgileri Baz İstasyonu (Base Station) olarak isimlendirilen sabit veya hareketli düğümlere gönderir. Araçlar arası ağlarda, çoklu-ortam bilgisinin bir araçtan diğer araçlar kullanılarak bir RSU'ya iletilmesi, hareketli algılayıcı ağlardaki yönlendirme problemi ile benzerlik göstermektedir. Bu yüzden değerlendirilecek olan coğrafi yönlendirme protokolleri arasına Receiver-based Opportunistic Forwarding (ROF) [21], Implicit Geographic Forwarding (IGF) [22] ve Priority based Stateless Geo-routing (PSGR) [23] protokolleri de eklenmiştir.

IVC haberleşmesi için geliştirilen protokollerin bir kısmı sadece emniyet uygulamalarına yöneliktir. Bu tip protokollerin temel hedefi acil durum mesajlarının belirli bir bölgedeki araçlara iletilmesinden ibarettir. Bu tip protokollerin çoklu-ortam uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılaması mümkün değildir. Bu yüzden literatürdeki yönlendirme protokolleri dikkatle incelenerek, sadece emniyet uygulamalarına yönelik yönlendirme algoritmaları elenmiş ve seçilen diğer protokollerin özellikleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.1, yönlendirme protokollerinin temel özelliklerini içermektedir. Çizelge 4.2 ise yönlendirme protokollerinin yönlendirme ile ilgili detay bilgisine odaklanmıştır.

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilen yönlendirme protokolleri, yukarıda tanımlanmış olan yönlendirme protokolleri özelliklerine bağlı olarak bir elemenden geçirilmiştir. Bazı yönlendirme protokolleri, yönlendirmenin gerçekleşmesi için özel bilgi ve/veya yapılara ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgi ve/veya yapılardan bazıları gerçekleştirilebilir bulunmadığından elenmiştir. Örneğin Urban Multi-Hop Broadcast (UMB) protokolü her kavşakta haberleşme kapsamının arttırılması için bir tekrar edici birime ihtiyaç duymaktadır. Büyük şehirlerdeki kavşak sayısı düşünüldüğünde bu yapının özellikle maliyet ve bakım açısından gerçekleştirilebilirlikten uzak olduğu görülmektedir. Öte yandan MHVB kapsamında trafik sıklığının belirlenmesi için araçlar üzerine monte edilen kısa mesafe algılayıcıların kullanılması öngörülmektedir. Bu tip bir işlem, hem ekstra donanım ve montaj maliyeti oluşturacak hem de bu tip algılayıcılar ile elde edilebilecek sonuçlar kısıtlı olacaktır.

Çizelge 4.1 Mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin genel özellikleri [20]

Protokol	Kullanım Alanı	Ağ Yapısı	Adresleme Yöntemi	RSU Desteği	Yönlendirme Tipi	Özel İhtiyaçlar
AMB	Şehiriçi	Düz	Tüme gönderim	Var	Gönderici	
A-STAR	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	
BLR	Genel	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
CAR	Genel	Düz	Teke gönderim	Yok	Gönderici	Yok
CBF	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
DRR	Genel	Hiyerarşik	Teke gönderim	Var	Gönderici	Yok
GeoGRID	Genel	Hiyerarşik	Coğrafi gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
GeoTORA	Genel	Düz	Herhangi birine gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
GPCR	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
Grid	Genel	Düz	Teke gönderim	Var	Gönderici	Yok
GSR	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
GVGrid	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim, Tüme gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
GyTAR	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	
IGF	Genel	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
LAR	Genel	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Alıcı	
LBM	Gene	Düz	Coğrafi gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
LORA-CBF	Genel	Hiyerarşik	Teke gönderim	Yok	Gönderici	Yok
MDDV	Şehiriçi	Düz	Coğrafi gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
MHVB	Genel	Düz	Tüme gönderim	Opsiyonel	Alıcı	
PSGR	Genel	Düz	Coğrafi gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
ROF	Genel	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
ROVER	Otoyol	Düz	Coğrafi gönderim	Yok	Gönderici	Yok
SADV	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Var	Gönderici	
SARC	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
SB	Otoyol	Düz	Tüme gönderim	Opsiyonel	Alıcı	Yok
TAPR	Şehiriçi	Hiyerarşik	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
TBS-SS	Genel	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	Yok
UMB	Şehiriçi	Düz	Tüme gönderim	Var	Gönderici	
VADD	Şehiriçi	Düz	Teke gönderim	Opsiyonel	Gönderici	

Bu ve benzeri ihtiyaçlara sahip A-STAR[24], MHVB[25], SADV[26] ve UMB[27] protokolleri elenmiştir. Ayrıca DRR[28], GeoGRID[29], LORACBF[30] ve TAPR[31] protokolleri de hiyerarşik yapıda olmaları dolayısıyla elenmiştir. Hiyerarşik yapıya sahip yönlendirme protokolleri sabit ağılarda yüksek veimliliğıne sahip olsa da, özellikle hareketli ağılarda verimliliklerinin oldukça düşük olduğı çeşitli çalışmalar ile gösterilmiştir.

Ayrıca, verinin sadece bir düğüme aktarılmasını desteklemeyen AMB[32], GeoTORA[33], GVGrid[34], LBM[35], MDDV[36], PSGR, ROVER[37] ve SB[38] protokolleri de inceleme kapsamından çıkarılmıştır.

Seçilen yönlendirme protokolleri, gönderici tabanlı ve alıcı tabanlı olmak üzere iki gruba ayrılarak ilerleyen bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

4.3 Gönderici Tabanlı Algoritmalar

Literatürde gönderici tabanlı çok sayıda coğrafi yönlendirme protokolü bulunmaktadır. Bu protokollere örnek olarak, CAR[39], GF[40], GPCR[41], Grid[42], GSR[43], GyTAR[44], SARC[45], TBP-SS[46] ve VADD[47] gösterilebilir. ETSI standardı kapsamında kullanılacak olan yönlendirme protokolü GF olarak belirlenmiştir. Tizin amacı, alıcı tabanlı coğrafi yönlendirme protokollerinin çoklu-ortam servisleri için uygunluğı incelenmesidir. Bu incelemenin sağıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için referans olarak GF protokolünün başarımı kullanılmıştır.

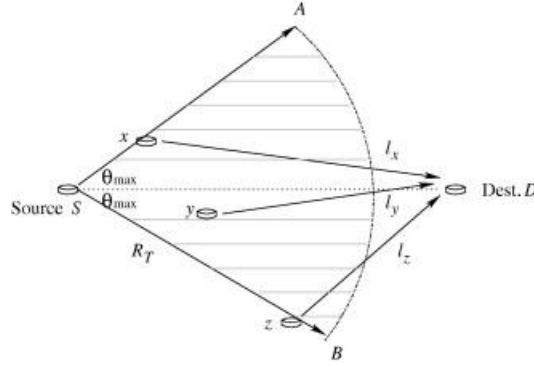
4.3.1 GF

GF yönlendirme protokolünde, her paketin gönderileceğı bir sonraki düğüm, gönderici düğüm tarafından belirlenmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için de, düğümlerin etraflarındaki komşu düğümler hakkında bilgi sahibi olması gerekmektedir. Bunun için de düğümler kimlik ve konum vektörlerinden oluşan işaret paketlerini periyodik olarak tüm komşularına yaymaktadırlar. Paket iletiminde, gönderici düğüm, haberleşme kapsamı içerisinde bulunan ve hedefe en yakın olan düğümü paketin

Çizelge 4.2 Mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin özellikleri

Protokol	Komşuluk Bilgisi	Konum Servisi	Yol BelirlemeYöntemi	Kontrol Paketi Kullanımı	Yol Koruması
AMB	Yok	Yok	Atlamalı	Ek paket	Yok
A-STAR	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
BLR	Yok	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
CAR	Gerekli	Üst katman	Uçtan-uca	Ek paket	Ara düğümlerde
CBF	Yok	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
DRR	Gerekli	Yok	Uçtan-uca	Ek paket	Ara düğümlerde
GeoGRID	Gerekli	Yok	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
GeoTORA	Gerekli	Yok	Uçtan-uca	Paket-İçi	Ara düğümlerde
GPCR	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
Grid	Gerekli	Entegre	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
GSR	Gerekli	Entegre	Atlamalı	Ek paket	Yok
GVGrid	Gerekli	Entegre	Uçtan-uca	Ek paket	Ara düğümlerde
GyTAR	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
IGF	Yok	Üst katman	Atlamalı	Ek paket	Yok
LAR	Yok	Entegre	Uçtan-uca	Ek paket	Yok
LBM	Yok	Yok	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
LORA-C	Gerekli	Entegre	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
MDDV	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Ek paket	Yok
MHVB	Yok	Yok	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
PSGR	Yok	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
ROF	Yok	Üst katman	Atlamalı	Ek paket	Yok
ROVER	Yok	Entegre	Uçtan-uca	Ek paket	Uçtan-uca
SADV	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
SARC	Gerekli	Entegre	Atlamalı	Paket-İçi	Uçtan-uca
SB	Yok	Üst katman	Atlamalı	Ek paket	Yok
TAPR	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok
TBS-SS	Gerekli	Üst katman	Uçtan-uca	Ek paket	Ara düğümlerde
UMB	Yok	Yok	Atlamalı	Ek paket	Yok
VADD	Gerekli	Üst katman	Atlamalı	Paket-İçi	Yok

iletilmesi için seçer. Eğer hedefe daha yakın bir düğüm bulunamaz ise, paket yerel bir maksimuma ulaşmıştır. Şekil 4.1' de S kaynak düğümünden, D hedef düğümüne paket iletilmesi sırasında bir sonraki düğümün tercih edilmesi gösterilmektedir. S düğümü, paketin hedefe iletilmesi için D düğümüne en yakın olan Z düğümünü seçmektedir.



Şekil 4.1 GF protokolünde bir sonraki düğümün seçilmesi

4.4 Alıcı Tabanlı Algoritmalar

Tayşi ve Yavuz tarafından [20]'de yapılan araştırmalar sonucunda IVC sistemlerinde çoklu-ortam servisleri için kullanılabilecek olan yönlendirme algoritmaları belirlenmiştir. Bu bölümde, bu algoritmalar açıklanmış ve tez kapsamında gerçekleştirilecek olan alıcı tabanlı algoritmalar belirlenmiştir.

4.4.1 BLR

Bir düğüm göndereceği paketin başlığına hem kendi konum bilgisini hem de hedef düğümün konum bilgisini ekleyerek komşu düğümlere gönderir. Paketi alan komşu düğümler eğer kaynak düğüme belirli bir mesafe içerisindeyse, paketin iletimine katılırlar. Eğer çevredeki komşu bir düğüm paketi iletirse, diğer düğümler paketin iletilmesinden vazgeçer. Hedef düğüme doğru ilerlenirken, paketi ileten düğümler, paketin başlığındaki gönderici düğüme ait konum bilgisini kendi konum bilgileri ile değiştirirler.

Hangi komşu düğümün paketi ileteceğine karar vermek için belirlenen alan içerisinde kalan her düğüm, dinamik olarak bir bekleme süresi (Dynamic Forwarding Delay, DFD) hesaplar[48]. DFD süresinin hesaplanmasına ilişkin formül Eşitlik 4.1' de verilmiştir. DFD değeri düğümün kendi konumuna, hedef düğümün konumuna ve paketi gönderen

düğümün konumuna bağlı olarak hesaplanır. Sonuç olarak en düşük DFD değerini hesaplayan düğüm paketi iletir ve diğer düğümler bu paketin iletiminden vazgeçer.

$$DFD = \left(\frac{e\sqrt{p^2 + d^2}}{e} \right) \quad (4.1)$$

4.4.2 CBF

Diğer alıcı tabanlı coğrafi yönlendirme protokolleri gibi CBF protokolü de, işaret paketlerinin kullanımına ihtiyaç duymaz. Bunun yerine veri paketleri tüm komşu düğümlere gönderilir ve paketin hangi düğüm tarafından iletileceğine komşu düğümler karar verir.

Her CBF veri paketi içerisinde, paketi ileten düğümün konum bilgisi, hedef düğümün kimlik ve konum bilgisi ile paket kimliği vardır. Veri paketini alan her düğüm, bu paketi ne zaman iletileceğine ilişkin bir zamanlayıcı ayarlar. Zamanlayıcı için kullanılacak süre, bu düğümün hedef düğüme doğru sağladığı ilerlemeye dayanarak hesaplanır.

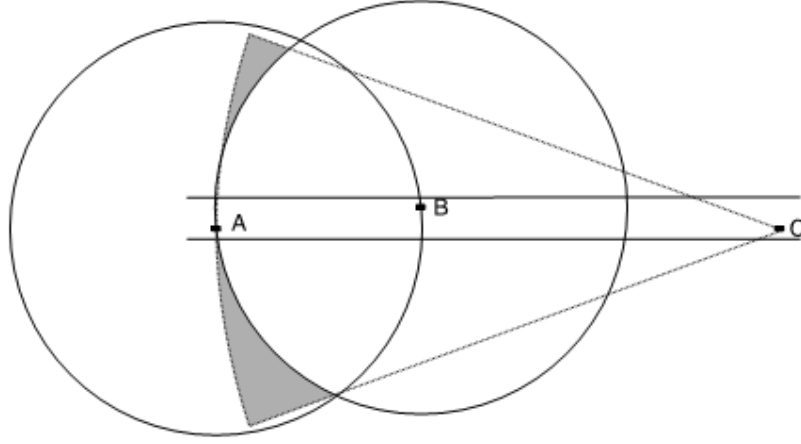
Paketin ilerlemesi Eşitlik 4.2’de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$P_r(i) = dist(l, d) - dist(i, d) \quad (4.2)$$

Formüldeki *dist* fonksiyonu euclid mesafesini *l* ve *d* sırasıyla son düğümün ve hedef düğümün konumunu göstermektedir. Zamanlayıcı için kullanılacak süre Eşitlik 4.3’te verilen formüle göre hesaplanmaktadır.

$$t = \begin{cases} \tau(1 - \frac{P_r(i)}{R}) & , 0 \leq P_r(i) \leq R \\ \infty & , diger \end{cases} \quad (4.3)$$

Bu formülde *R* radyo kapsama alanını, *t* maksimum bekleme süresini göstermektedir. Hesaplanan *t* değeri, düğümün paketin iletimine nasıl katılacağını göstermektedir. *t* değerinin sonsuz olması durumunda paket gönderimi iptal edilecektir. Aksi takdirde düğüm *t* saniye bekleyerek paketi iletilecektir. Bu süre zarfında aynı kimliğe sahip bir paketin iletilmesi durumunda, düğüm paketin iletimini iptal edecektir.



Şekil 4.2 CBF protokolünde paketlerin iletimi için bir sonraki düğümün seçilmesi

Ayrıca aynı paketin birden fazla iletilmesini engellemek için her düğüm gönderilen paketlere ait kimlik bilgisini tutar. Hedef düğüm paketi aldığı anda komşu düğümleri paketi aldığından haberdar etmek için, paketi son bir daha komşularına gönderir.[49]

4.4.3 IGF

IGF protokolünün temelindeki fikir, paketlerin ara düğümlerin kendi aralarında yarışarak, önceden belirlenmemiş bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktır. Bu şekilde komşu düğümlere ait durum bilgisinin tutulması ile oluşacak ekstra paket trafiğinin önüne geçilmektedir. IGF, yönlendirme için seçilecek düğümün belirlenmesinde hedefe doğru artan uzaklık (Increased Distance Toward the Destination, IDTD) ve kalan enerji (Energy Remaining, ER) metriklerini kullanmaktadır.

IGF yönlendirme işlemini gerçekleştirmek için sinyalleşme mekanizması kullanılmaktadır. Bir düğüm paket göndermeden önce Open RTS (ORTS) sinyali yayınlar. Düğümün haberleşme kapsamı içerisinde kalan düğümler, bu isteği alır ve önceden belirlenmiş olan alan içerisinde kalan düğümler bir cevap sinyali (CTS) için zamanlayıcı oluşturur. Zamanlayıcı için süre, IDTD, ER ve rasgele bir değerin kullanılması ile hesaplanır. Sadece en kısa süreyi hesaplamış olan düğümler, ORTS sinyaline karşılık verir. CTS sinyalini duyan diğer düğümler, kendi zamanlayıcılarını durdurur ve CT paketinin gönderimini iptal eder. CTS sinyalini alan gönderici düğüm, veri paketlerini göndermeye başlar. Gönderilen her veri paketi için bir onay paketi (ACK) geri gönderilir. [22]

CTS sinyalinin ne zaman gönderileceğine ilişkin zamanlayıcının hesaplanmasına ilişkin formüller Eşitlik 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

$$E_r = 1 - \left(\frac{E_{cbr}}{E_{max}} \right) \quad (4.4)$$

$$D_{Parameter} = CDx \left(\frac{IDTD}{R} \right) \quad (4.5)$$

$$E_{Parameter} = CExE_r \quad (4.6)$$

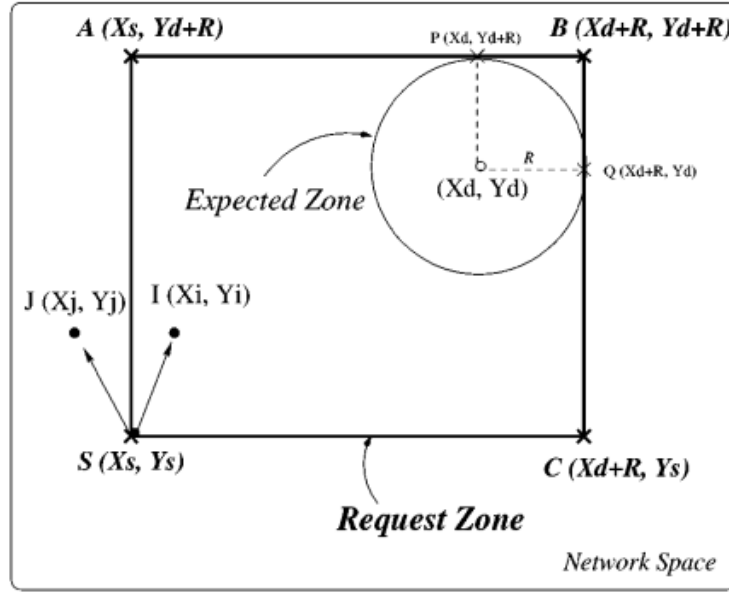
$$F = 1 - \left(\frac{D_{Parameter} + E_{Parameter} + Rand}{W_e + W_d + W_r} \right) \quad (4.7)$$

$$T_{cts} = SIFS + t_{max} x F \quad (4.8)$$

Rand değeri 0 ile 1 arasında rasgele bir sayıdır. W_d , W_e , W_r değerleri ise uzaklık, enerji ve rasgele sayıya ait ağırlık değerleridir. R değişkeni radyo haberleşmesi mesafesini, *SIFS* ise IEEE 802.11p MAC katmanındaki Short Inter Frame Spacing değerini ve t_{max} ise en yüksek bekleme süresini temsil etmektedir.

4.4.4 LAR

LAR protokolü bir çeşit sınırlı taşıma protokolü gibi düşünülebilir. LAR kapsamında bahsedilen sınırlar kaynak ve hedef düğümlerin coğrafi konumlarına bağlı olarak belirlenir. Eğer hedef düğümün t_0 anındaki ortalama hızı ve coğrafi konumu kaynak düğüm tarafında belirlenebiliyorsa, hedef düğümün t_1 anındaki konumu bir çember içerisinde kalacak şekilde belirlenebilir. Bu çember, Expected Zone (EZ) olarak isimlendirilmektedir. Bir düğüm veri göndermek istediğinde öncelikle yol bulma işlemi başlatır. Bu işlem sırasında kaynak düğüm, Request Zone (RZ) olarak isimlendirilen ve kaynak düğümün o anki pozisyonu ile EZ’yi içine alan en küçük dikdörtgeni hesaplar. Şekil 4.3’te EZ ve RZ nin belirlenmesine yönelik bir örnek verilmektedir.



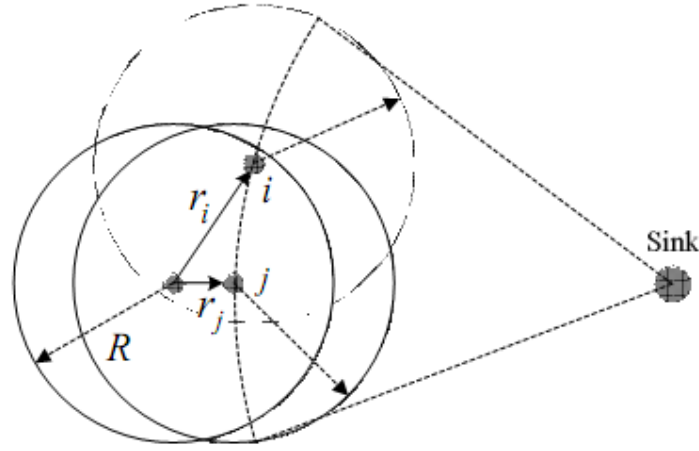
Şekil 4.3 LAR Protokolünde Expected Zone ve Request Zone belirlenmesi

Kaynak düğüm RZ bilgisini yol bulma paketinin içerisine ekler. Paketi alan düğüm, eğer RZ içerisinde kalıyorsa paketi komşularına iletir. Aksi takdirde düğüm bu paketi gözardı eder. [50]

LAR protokolünde kaynak düğüm ile hedef düğüm arasında uçtan uca yaklaşımına göre bir yol oluşturulur. Bu yol üzerinde herhangi bir kopma oluştuğunda, bu durum kaynak düğüme iletilir ve kaynak düğüm yeni bir yol bulma işlemi başlatır.

4.4.5 ROF

ROF protokolünde kaynak düğüm kendi konum bilgisini veri paketine ekleyerek, paketi komşularına gönderir. Paketi alan her komşu, hedef düğüm ile olan uzaklıklarını hesaplar. Eğer hesaplanan mesafe bir önceki düğümün hedefe uzaklığından fazla ise paket gözardı edilir. Hesaplanan mesafenin, önceki düğümün uzaklığından az olması durumunda, düğüm iletim önceliğini hesaplayarak, paketin hedef düğüme doğru iletilmesinde paylaşımcı olmak için yarışır. Eğer en uzun bekleme süresince paketi ileten bir düğüm olmazsa, gönderici düğüm paketi tekrar gönderir. ROF Protokolünde paketin iletilmesi için bir sonraki düğümün seçimine ilişkin örnek Şeil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 ROF protokolünde paketin iletilmesi için bir sonraki düğümün seçimi

4.4.6 Algoritmaların Seçimi

Tez kapsamında başarımlı değerlendirilmelerinde kullanılmak üzere gerçekleştirilecek olan alıcı tabanlı algoritmalar CBF, LAR ve ROF olarak belirlenmiştir. BLR algoritması temel olarak CBF ile çok yakın olduğu, IGF algoritması ise kullanılan sinyalleşme yönteminden dolayı tercih edilmemiştir.

CBF ve ROF protokolleri tarif edildikleri şekilde gerçekleştirilmiştir. Ancak LAR protokolünün uçtan uca yol oluşturma yaklaşımı değiştirilmiştir. Bu protokolün değiştirilmiş versiyonunda, uçtan uca yol oluşturulması için kullanılan yönlendirme kriterleri gerçek veri paketlerinin yönlendirilmesinde kullanılmıştır.

GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN MİMARİSİ

Tez kapsamında gerçekleştirilecek olan testlerin yapılması için NCTUns benzetim ortamının kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılabilecek mevcut benzetim ortamları, bu benzetim ortamlarının özellikleri ve değerlendirilmesi EK-A' da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. NCTUns benzetim ortamında ETSI TS 102 636-4-1 dökümanında belirtilen CYK ile uyumlu bir sistem gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucu 3 farklı alıcı tabanlı yönlendirme protokolü seçilmiştir. Seçilen bu yönlendirme protokolleri gerçekleştirilen sistemin yapısında kullanılma üzere benzetim ortamında gerçekleştirilerek başarımları ortaya konmuştur.

Oluşturulan sistemin benzetim ortamında gerçekleştirilmesi sırasında, hem sistemin sağlıklı bir şekilde çalışması hem de başarımlar ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için çeşitli değişiklik veya eklemeler yapılmıştır. Bu bölümde yukarıda bahsi geçen değişikliklere ait detaylı bilgi verilmektedir.

5.1 Sistemin Genel Yapısı

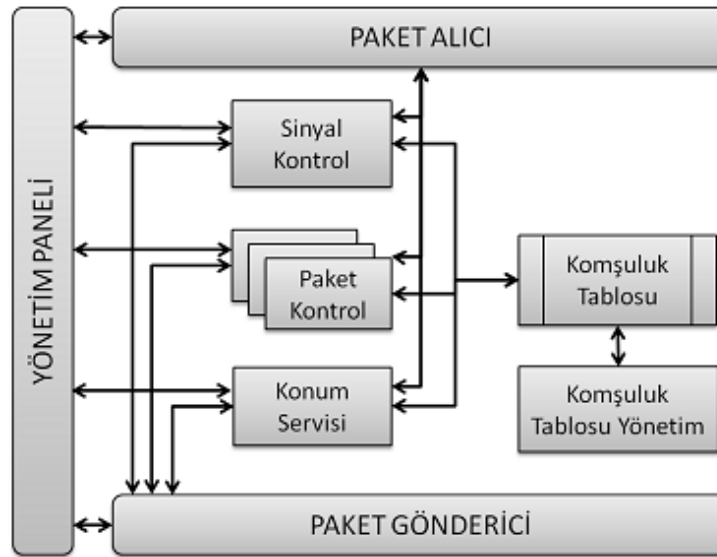
Coğrafi yönlendirme katmanının gerçekleştirilmesinde modüllerden oluşan ve her modülün bir fonksiyon olarak gerçekleştirildiği tekli işlem temelli bir yapıdan faydalanılmıştır. Şekil 5.1'de gerçekleştirilen yapıya ait blok diyagram verilmiştir. Her modülün bir blok olarak gösterildiği diyagramda herbiri farklı işlevleri yerine getiren 10 adet farklı modül bulunmaktadır.

Paket alıcı modülü, gelen paketlerin tiplerine göre uygun kuyruklara aktarılmasından sorumludur. Her paket tipine özel işlemlerin gerçekleştirilmesi için işaret kontrol,

geounicast kontrol, geoanycast kontrol, geobroadcast kontrol and topo-broadcast kontrol olmak üzere toplam 5 adet farklı paket kontrol modülü vardır. Her paket kontrol modülüne ait gelen paketlerin tutulduğu dairesel yapıda bir kuyruk vardır. Giden paketler için yine dairesel yapıda ancak tek bir ortak kuyruk kullanılmaktadır.

İşaret kontrol modülü, düğüme ait konum bilgisini içeren işaret paketlerinin komşulara gönderilmek üzere periyodik olarak üretilmesinden sorumludur. İşaret kontrol modülü öncelikle alınan paketin geçerliliğini kontrol eder. Bir sonraki adımda Komşuluk Tablosu (KT)'nda paketi gönderen düğüm ile ilgili bir kayıt olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bir kayıt yoksa, bu düğüm için yeni bir kayıt oluşturulur. Kayıt bulunduyorsa, paketin ve kaydın zaman bilgisi kontrol edilerek daha yeni olan bilgi kullanılır.

Diğer paket tiplerinin kontrolünden sorumlu olan modüllerin çalışma prensipleri birbirlerine oldukça yakındır. Her modül alınan paketin tekrar eden paket olup olmadığı kontrolünü gerçekleştirir. Daha sonra paketin kaynak düğüme, iletilen düğüme ve hedef düğüme ait konum bilgisini KT'ye ekler veya günceller. Paketi alan düğüm, hedef düğüm ise, paket üst katmana aktarılır. Eğer paketin hedef düğümü farklı bir düğüm ise, hedef düğüme doğru iletilmek üzere paket gönderici modülüne aktarılır.



Şekil 5.1 Geliştirilen sisteme ait blok diyagram

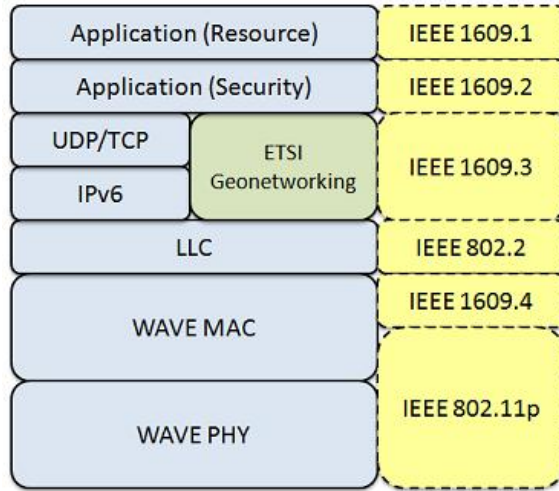
Paket gönderici modülü tüm paket kontrol modüllerinin ortak paket çıkış kuyruğunu tarar ve hazır olarak işaretlenmiş olan paketleri gönderir. Ayrıca KT'deki kayıtları

kullanarak bir sonraki düğümleri belirlenmemiş olan paketlerin sonraki düğümlerini belirler.

Paket kontrol modülleri tarafından yaratılan KT kayıtları, KT yönetim modülü tarafından güncellenir. KT yönetim modülü, zaman bilgisini kullanarak kayıtların geçerliliğini kontrol eder. KT yönetim modülü aynı zamanda NCTUns benzetim API fonksiyonlarını kullanarak düğüme ait konum bilgisinin alınması ve bu konum bilgisinin coğrafi konuma dönüştürülerek KT'ye eklenmesi işlemlerinden de sorumludur.

5.1.1 Gerçekleme Katmanı

ETSI uyumlu coğrafi yönlendirme protokol katmanı, işletim sistemi açısından bakıldığında, kullanıcı uzayında veri trafiği oluşturan bir uygulama olarak gerçekleşmiştir. Bu şekilde benzetim ortamında yapılması gereken değişiklikler en aza indirilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere coğrafi yönlendirme protokol katmanı, IEEE 802.11p katmanının üzerinde ve mevcut WSMP prokolüne paralel olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.2 Gerçeklenen sistemin NCTUns benzetim ortamındaki yeri

5.1.2 Uygulama Arayüzü

Kullanıcı uygulamalarının ETSI uyumlu coğrafi yönlendirme katmanını kullanabilmeleri için soket programlama kullanılarak bir arayüz geliştirilmiştir. Coğrafi yönlendirme katmanını kullanarak paket gönderip almak isteyen uygulamaların, soket programlama arayüzü üzerinden önceden belirlenmiş olan bir haberleşme noktasına bağlanmaları yeterlidir. Uygulamalar ile coğrafi yönlendirme katmanı arasında kullanılan paketler

kontrol bloğu ve yük olarak iki kısımdan oluşur. Kontrol bloğunda paket tipi, adres bilgisi yer alırken, yük kısmında uygulamaya ait paket bulunmaktadır.

5.1.3 Başarım Bilgisinin Toplanması

Gerçekleştirilen sistemlerin başarımının ölçülmesi için yapılan testlerde oluşturulan paketlere ait kaynak düğümde oluşturulma zamanı, ara düğümler tarafından işleme (iptal edilme, iletilme, vb.) zamanı ve hedef düğüme ulaşma zamanı bilgileri gerekmektedir. Bu tip bilgilerin hızlı ve kolay bir şekilde toplanabilmesi için testlerde kullanılan uygulamalara basit bir veri tabanı istemcisi yazılmıştır. Uygulama yukarıda belirtilen durumlardan biri olduğunda basit yapıdaki bir UDP paketini, benzetim ortamının çalıştırıldığı bilgisayarda bir sunucu uygulamasına göndermektedir. Sunucu uygulaması alınan mesaj paketini inceleyerek, veri tabanında önceden belirlenmiş olan o benzetim senaryosuna ait bir tabloya eklemektedir. Her benzetim senaryosu için veri tabanında ayrı bir tablo oluşturulmaktadır. Veri tabanında bu tabloların oluşturulması için kullanılan şablonun yapısı Çizelge 5.1’de verilmiştir.

5.2 NCTUns benzetim ortamının yapılandırılması

Bu bölümde ETSI uyumlu coğrafi yönlendirme katmanının gerçekleştirilmesi sırasında NCTUns benzetim ortamında yapılan ayarlar anlatılmaktadır.

Çizelge 5.1 Başarım ölçümü için oluşturulmuş olan veri tabanındaki tablolara ait alanlar, alanların tipleri ve açıklamaları

Alan adı	Tipi	Açıklama
Source	Integer	Paketi oluşturan düğümün numarası
Dest	Integer	Paketin hedefi olan düğümün numarası
Sqn	Integer	Paketin sıra numarası
Timestamp	Timestamp	Paket ile ilgili işlemin yapıldığı anda düğümdeki saat
Tick	Integer	Paket ile ilgili işlemin yapıldığı anda düğümdeki tick
Self	Integer	Paket ile ilgili bilgiyi veren düğümün numarası
Sender	Integer	Paketin hangi düğümden alındığı
Action	Integer	Paket ile ilgili gerçekleştirilen işlemin kodu

5.2.1 Konum Bilgisi

NCTUns benzetim ortamında düğümlerin konum bilgileri kartezyen koordinatları şeklinde tutulmaktadır. Ancak ETSI standardında kullanılan konum bilgileri coğrafi konum bilgisidir. Bu yüzden bu iki farklı tipteki konum bilgisi arasında aşağıda verilen eşitliler kullanılarak bir dönüşüm yapılması gerekmektedir. Aşağıdaki eşitliklerde x , y , z kartezyen konum bilgisini göstermektedir. Boylam (long), enlem (lat) and yükseklik (h) bilgisi sırayla Eşitlik 5.1, 5.2 ve 5.3 kullanılarak hesaplanır. Bu formüllerdeki a dünyanın ekvatordaki yarıçapını (6,378,137m), b ise dünyanın kutuplardaki yarıçapını (6,356,752m) göstermektedir. Eksen kayıklığı e Eşitlik 5.4, düzleşme (flattening) katsayısı f ise Eşitlik 5.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$long = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) * \frac{180^\circ}{3.14} \quad (5.1)$$

$$lat = \arctan\left(\frac{z + E * b * \sin(u)^3}{p - e^2 * a * \cos(u)^3}\right) * \frac{180^\circ}{3.14} \quad (5.2)$$

$$h = px \frac{1}{\cos(f) * v} \quad (5.3)$$

$$e^2 = 2 * f - f^2 \quad (5.4)$$

$$f = 1 - \frac{b}{a} \quad (5.5)$$

$$p = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad (5.6)$$

$$u = \arctan\left(\frac{z * a}{p * b}\right) \quad (5.7)$$

$$E = \frac{e^2}{1 - e^2} \quad (5.8)$$

$$v = \sqrt{\frac{a}{1 - e^2 * \sin(f)^2}} \quad (5.9)$$

5.2.2 Benzetim Zamanı

NCTUns benzetim ortamında gerçekleştirilecek olan benzetim için zamanın akış hızını belirlemek mümkündür. Bunun için benzetim ortamında “as fast as possible” ve “as fast as realtime clock” olmak üzere iki farklı seçenek sunulmaktadır. “as fast as possible” seçeneği benzetim işleminin hızlı şekilde yapılmasına imkan sağlamakla beraber, benzetim işlemi sırasında düğümlerin zaman bilgisinde bozulmalara ve elde edilen sonuçların hatalı olmasına neden olmaktadır. Bu sebeplerle benzetim için zamanın akış hızı “as fast as realtime clock” olara seçilmiştir.

Ayrıca coğrafi yönlendirme algoritmalarının başarımının değerlendirmesi için önemli kriterlerden biri olan uçtan uca gecikmenin (end-to-end delay) gerekli hassasiyet ile hesaplanabilmesi için ara zaman birimi (tick) oluşturulmuştur. Geliştirilen uygulama saniyede 20 kere *tick* değerini arttırmaktadır. Bu şekilde paket ile ilgili ölçümler 50ms hassasiyetle yapılabilmektedir.

5.2.3 İşlem Eşgüdümü

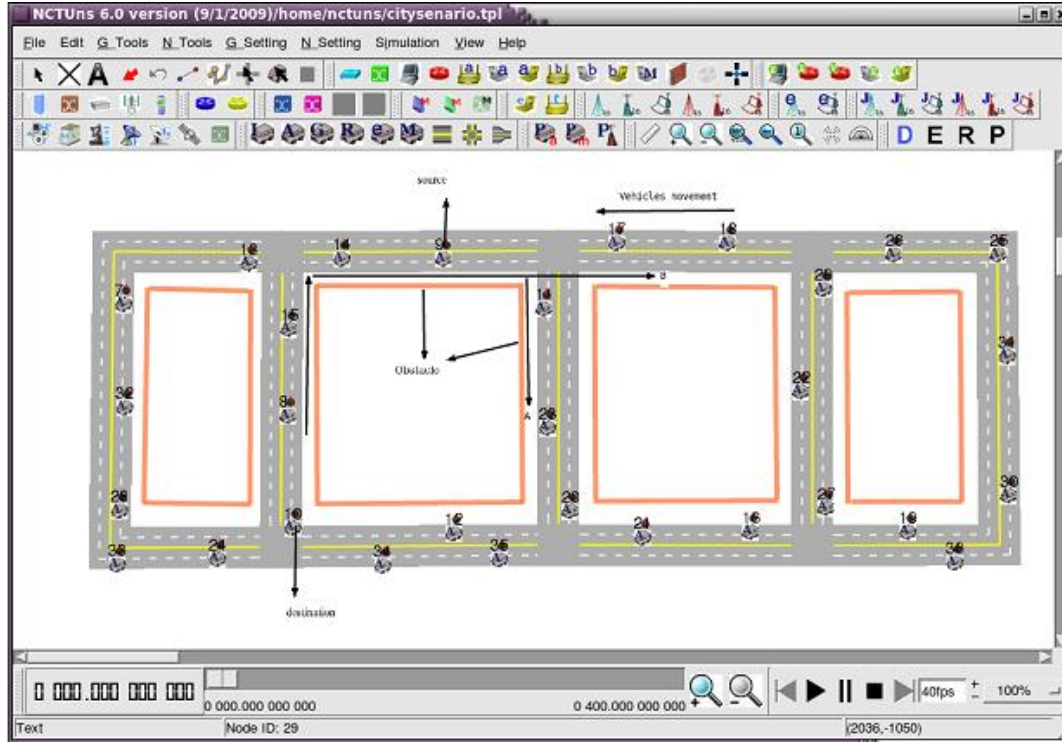
Coğrafi yönlendirme katmanı öncelikle çoklu işlem parçacığı destekleyecek şekilde gerçeklenmeye çalışılmıştır. Ancak uygulamanın ve/veya benzetim ortamının takılması, bellek erişim hatalarının oluşması gibi aksaklıklar yüzünden bu yöntemden vazgeçilmiştir. Sonuç olarak coğrafi yönlendirme katmanı tekli işlem yapısında, ortak çoklu işlem (cooperative multitasking) yöntemi ile gerçeklenmiştir. Sistemin bünyesindeki her modül bir fonksiyon olarak gerçeklenmiştir. Ana işlem bir döngü içerisinde, çalışma periyodlarına bağlı olarak gerekli fonksiyonları çalıştırıp sonrasında işlemciyi benzetim ortamına bırakmak için önceden belirlenmiş bir süre kadar uyutulmuştur. Uyuma işlemi benzetim ortamı tarafından sağlanmış olan ***usleepAndReleaseCPU()*** fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu fonksiyon kullanılarak benzetim ortamındaki uygulamanın 50ms aralıklarla uyuması sağlanmaktadır.

COĞRAFI YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN BAŞARIM DEĞERLENDİRMELERİ

Coğrafi yönlendirme protokollerinin başarımlarının değerlendirilmesi için bu protokollerin herbiri NCTUns-6.0 benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşmiş olan protokollerler, farklı senaryolar için farklı benzetim parametreleri kullanılarak test edilmiş ve başarımları ölçülmüştür. Kullanılan benzetim ortamı ve bu ortamın seçimine ait detaylı bilgi EK-A'da verilmiştir. Bu bölümde protokollerin testleri sırasında kullanılan senaryolar, benzetim parametreleri, başarımların kriterleri ilgili alt başlıklarda verilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuş, yorumlanmıştır.

6.1 Benzetim Senaryoları

Coğrafi yönlendirme protokollerinin karşılaştırılmasında kullanılacak olan senaryolar, hem doğal trafik akışına hem de haberleşme şekline bağlı olarak belirlenmiştir. Trafik akışına göre senaryoları, şehiriçi ve otoyol senaryoları olarak iki grup altında toplamak mümkündür. Şehiriçi senaryoların gerçekleştirilmesi için Şekil 6.1'de görüldüğü üzere, şehir merkezindeki gibi birbirine geçen yolların olduğu bir alan kullanılmıştır.



Şekil 6.1 Şehiriçi senaryolar için NCTUns benzetim ortamında oluşturulan yapı

Otoyol senaryoları için ise dikdörtgen bir yol tasarlanmıştır. Bu şekilde sürekli devam eden çok daha uzun bir otoyol oluşturulmuştur.

ETSI standardında tanımlanan ve Bölüm 4.1.1'de açılan haberleşme kapsamı göz önüne alındığında, haberleşme şekline göre benzetim senaryolarını üç ana başlık altında toplamak gerekmektedir:

1) Araçlar arası senaryolar (V2V) : Gönderici ve alıcının aynı coğrafi bölgede olduğu ve birbirleri ile bir veya daha fazla atlamalı haberleşmeden faydalanılarak iletişim kurabildiği durumlardır.

2) Alıcının/Göndericinin Internette olduğu senaryolar (V2I) : Alıcının Internette olduğu durumlarda, paketler coğrafi yönlendirme kullanılarak çevredeki araçlar üzerinden bir RSU'ya gönderilir. Oradan da IP protokolü ile hedef adrese gönderilir. Göndericinin Internette olması durumunda ise paketler hedef aracın olduğu coğrafi konuma hizmet veren RSU'ya kadar IP protokolü ile gönderilir, daha sonra arada başka araçlar da kullanılarak hedef düğüme kadar coğrafi yönlendirme ile aktarılır.

3) Alıcı ve Göndericinin Internet üzerinden erişilebildiği senaryolar (VRV): Yukarıdaki her iki senaryonun birleşmesi ile oluşan senaryolardır. Bu senaryolar, alıcı ve göndericinin çoklu atlamalı haberleşme ile haberleşmelerinin mümkün olmadığı senaryolardır.

6.2 Benzetim Parametreleri

IVC uygulamalarının başarımlarını değerlendirilmesi için oluşturulan benzetimlerde hem araç trafiği hem de ağ trafiğine ait çok sayıda parametre bulunmaktadır. Araç trafiğine ait parametrelere örnek olarak şerit sayısı, araçların yönü ve rotaları, araç yoğunluğu ve araçların hızı verilebilir. Ağ trafiğine ait parametreler ise paket üreten araç sayısı, araçların paket üretme hızları, paket boyutu ve RSU sayısı ve uzaklığı olarak gösterilebilir. Gerçekleştirilen benzetimlerde, senaryoya göre değişiklik göstermekle beraber, bu parametrelerden bazıları sabit tutulmuş bazıları değiştirilmiştir. Çizelge 6.1’de senaryolarda kullanılan parametrelerin değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.1 Benzetim senaryolarında kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre Adı	Değer Aralığı	Açıklama
Araç Sayısı	20 - 80	20 şer artırılmıştır
Şerit Sayısı	4	Sabit tutulmuştur
Araç Yön ve Rotaları	-	Rasgele belirlenmiştir
Araç Hızı	10 – 30 m/s	Rasgele belirlenmiştir
Paket üreten araç sayısı	%10 - %40	Toplam araç sayısına göre %10 arttırılmıştır
Paket üretme hızı	1 p/s	Sabit tutulmuştur
Paket boyutu		Sabit tutulmuştur
RSU sayı ve aralığı	2 km’de 1	Sabit (Sadece VRV senaryolarında)

6.3 Benzetim Başarım Kriterleri

Coğrafi yönlendirme protokollerinin başarımlarının ölçülmesinde çeşitli kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler genel olarak, paketlerin bir noktadan diğerine ne kadar hızlı ve yüksek oranda iletildiğini gösteren kriterlerdir. Başarım kriterleri, *paket dağıtım*

oranı, paket üretim oranı, ortalama uçtan uca paket gecikmesi ve ortalama atlama sayısı olarak belirlenmiştir. *Paket dağıtım oranı*, tüm düğümler tarafından başarılı şekilde hedefe iletilen paketlerin, tüm düğümler tarafından oluşturulan paketlere oranıdır (6.1).

$$D_{PDO} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{PD}(i)}{\sum_{i=1}^N D_{PO}(i)} \times 100 \quad (6.1)$$

Paket üretim oranı, düğümler tarafından oluşturulan paketlerin, kaynak düğümden hedef düğüme iletilmesi sırasında, ara düğümler tarafından oluşturulan toplam paket sayısının, oluşturulan toplam paket sayısına oranıdır (6.2).

$$D_{PUO} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{PU}(i)}{\sum_{i=1}^N D_{PO}(i)} \times 100 \quad (6.2)$$

Ortalama uçtan uca paket gecikmesi ise kaynak düğümden hedef düğüme iletilen paketlerin toplam uçtan uca gecikmesinin, kaynak düğümden hedef düğüme iletilen paket sayısına oranıdır (6.3).

$$P_{AD} = \frac{\sum_{i=1}^M P_D(i)}{M} \times 100 \quad (6.3)$$

6.4 Benzetim Sonuçları

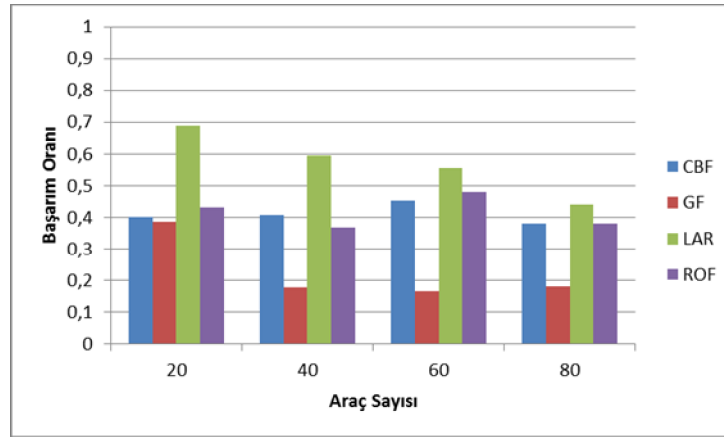
Benzetim ortamında elde edilen sonuçlar, Bölüm 6.1’de belirtilen senaryolar göz önünde bulundurularak otoyol ve şehiriçi olmak üzere iki alt başlıklar altında verilmiştir. Bu başlıklar altında sırası ile sadece araçlar arasındaki haberleşme senaryoları, araçlar ile Internetteki düğümler arasındaki haberleşme senaryoları ve son olarak RSU ağının da kullanıldığı araçlar arası haberleşme senaryoları incelenmiştir.

6.4.1 Otoyol Senaryoları

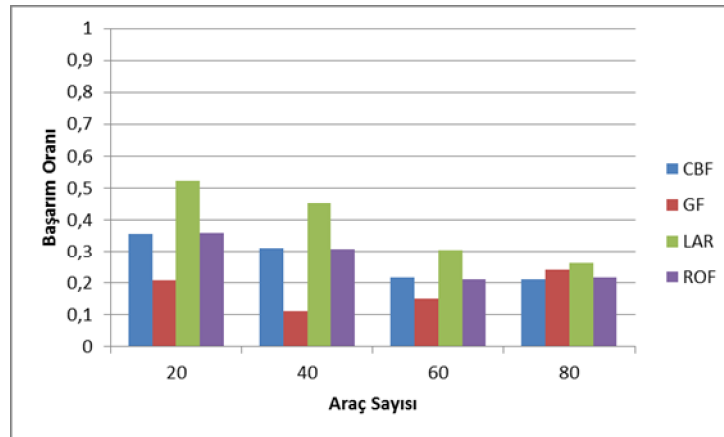
Otoyol benzetimlerinde elde edilen sonuçlar, Bölüm 6.1’ de tanımlanmış olan haberleşme senaryolarına uygun şekilde gruplanarak alt başlıklar altında verilmiştir.

6.4.1.1 V2V Senaryoları

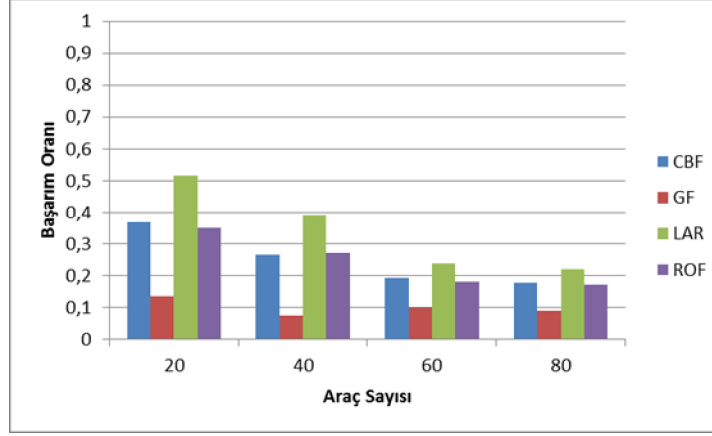
Bölüm 6.3'te belirtilen başarımlar kriterlerine göre V2V senaryoları için gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin paket dağıtım oranları verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde alıcı tabanlı protokollerin, özellikle de LAR protokolünün, GF protokolüne göre daha yüksek paket dağıtım oranları sağladığı görülmektedir. Tüm alıcı tabanlı protokollere ait paket dağıtım oranlarının, araç yoğunluğu ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. GF protokolü ise düşük araç yoğunluğunda yüksek paket dağıtım oranı sağlamakta, ancak araç yoğunluğu arttığında paket dağıtım oranı belirli bir seviyenin altında ufak sapmalar göstererek sabit kalmaktadır.



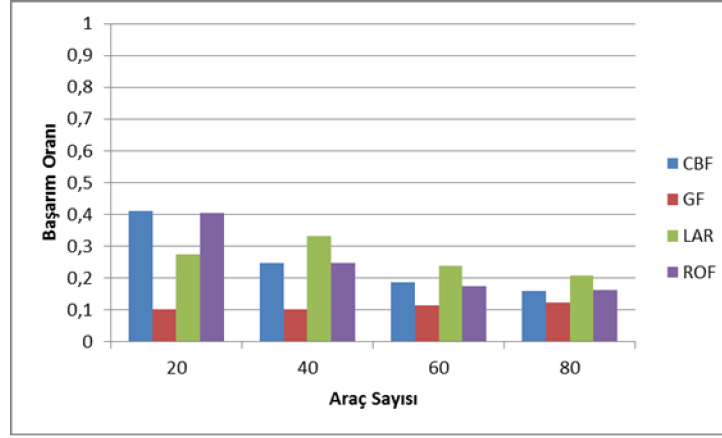
Şekil 6.2 HKDO = %10 durumu için PDO



Şekil 6.3 HKDO = %20 durumu için PDO

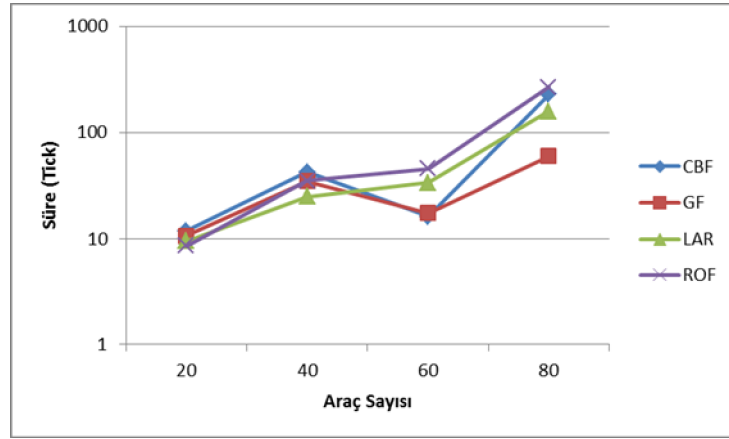


Şekil 6.4 HKDO = %30 durumu için PDO

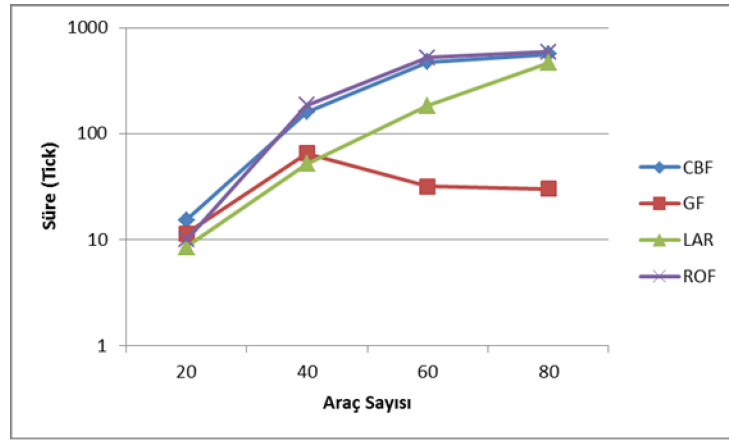


Şekil 6.5 HKDO = %40 için PDO

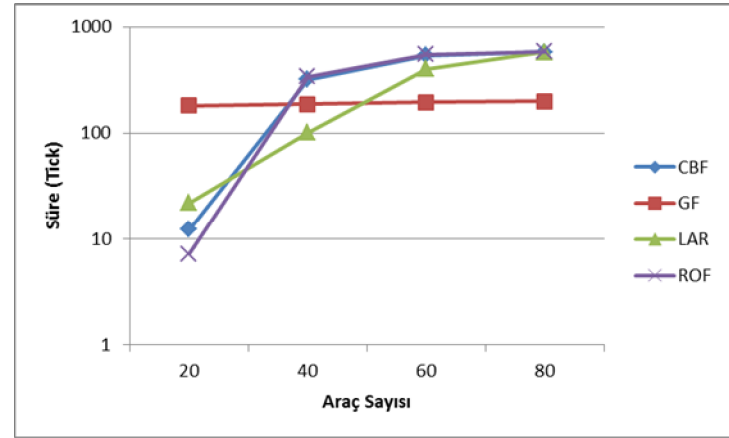
Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, uçtan uca paket gecikmesi verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde alıcı tabanlı protokollerine ait paket gecikme değerlerinin, düğüm yoğunluğunun artması ile üssel şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca artan paket trafiği de alıcı tabanlı protokollerdeki paket gecikmesini artma yönünde etkilemektedir. GF protokolünde ise paket gecikmelerinin düğüm sayısındaki değişimlerden çok fazla etkilenmediği gözlenmektedir. Ancak paket trafiğindeki artış GF protokolünde paket gecikme süresinin artmasına neden olmaktadır.



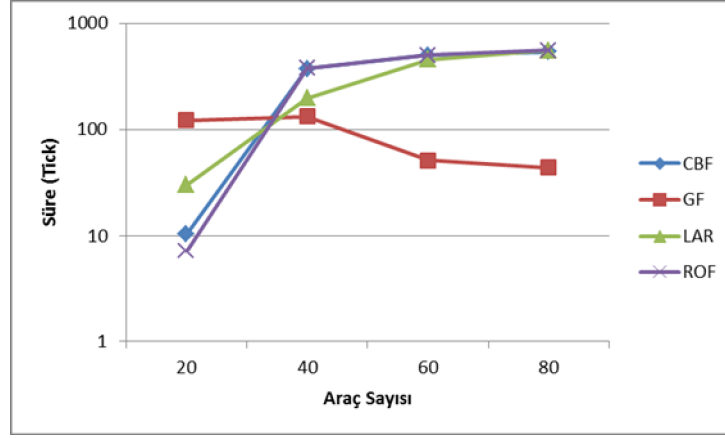
Şekil 6.6 HKDO = %10 için UUGS



Şekil 6.7 HKDO = %20 için UUGS

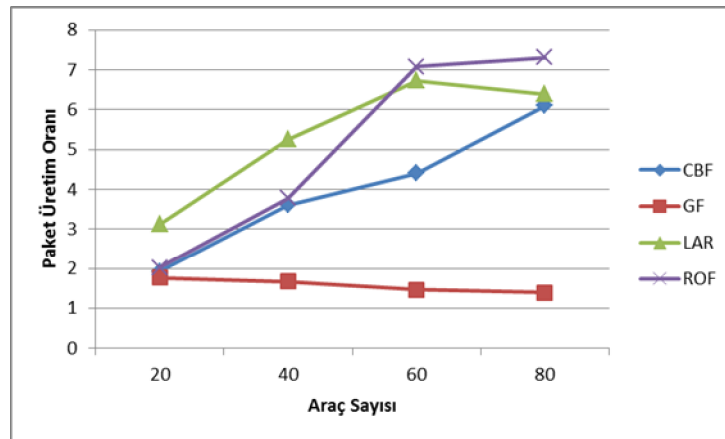


Şekil 6.8 HKDO = %30 için UUGS

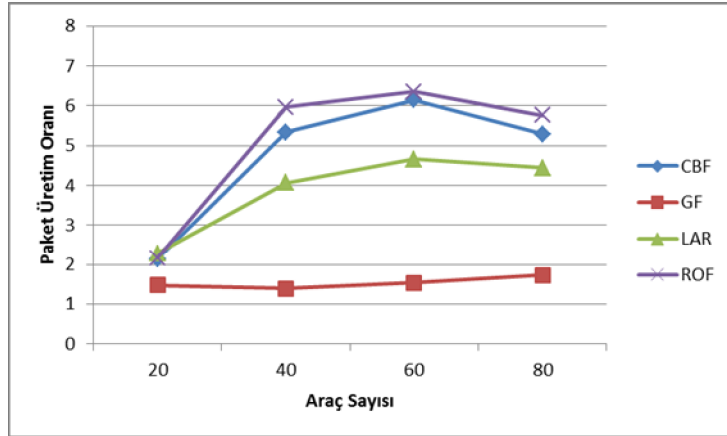


Şekil 6.9 HKDO = %40 için UUGS

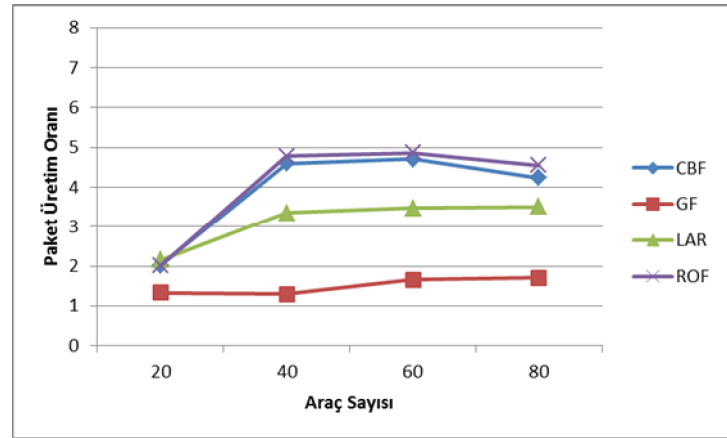
Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, paket üretim oranları verilmiştir. Protokollere ait paket üretim grafikleri incelendiğinde alıcı tabanlı algoritmaların birbirlerine benzer şekilde, araç sayısı arttığında paket üretim oranının da arttığı ve belirli bir noktadan sonra doyuma ulaştığı görülmektedir. Öte yandan paket trafiğinin artması paket üretim oranının azalmasına neden olmaktadır. Bunun temel nedeni, trafik yoğunluğundan dolayı kaybedilen paket miktarının artmasıdır. GF protokolü için paket üretim oranının araç sayısından bağımsız olduğu söylenebilir. Ancak paket trafiğinin artması aynen alıcı tabanlı protokollerdeki gibi paket üretim oranının azalmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni, yine alıcı tabanlı protokollerde olduğu gibi paket kayıplarının artmasıdır.



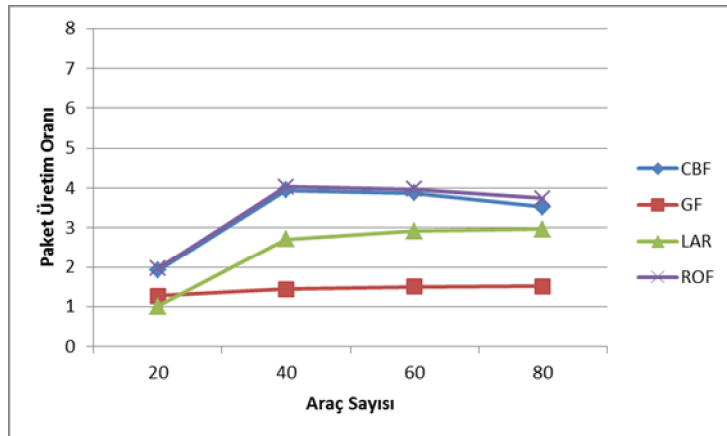
Şekil 6.10 HKDO = %10 için PUO



Şekil 6.11 HKDO = %20 için PUO



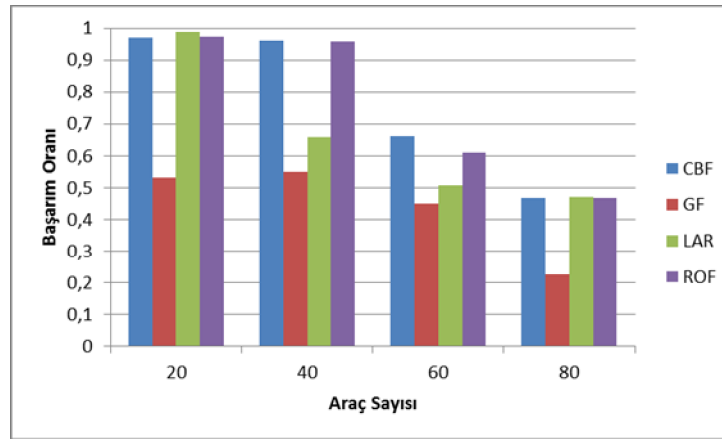
Şekil 6.12 HKDO = %30 için PUO



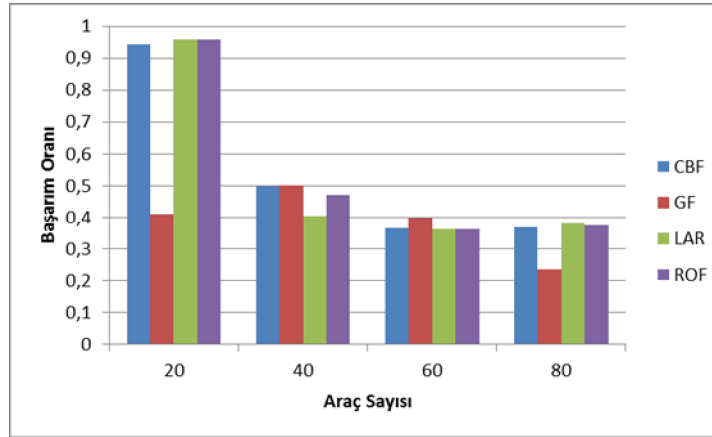
Şekil 6.13 HKDO = %40 için PUO

6.4.1.2 V2I Senaryoları

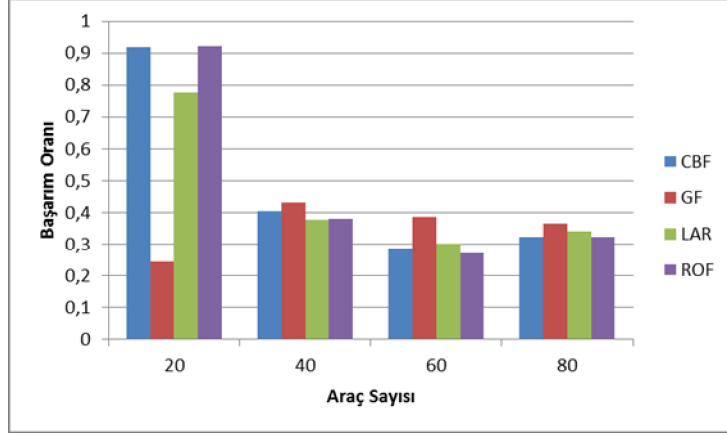
Bölüm 6.3'te belirtilen başarım kriterlerine göre V2I senaryoları için gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin paket dağıtım oranları verilmiştir. V2I senaryolarında elde edilen sonuçlar, V2V senaryolarına ait sonuçlar ile örtüşmektedir. V2I senaryolarında RSU'ların devreye alınması paket dağıtım oranlarının artmasını sağlamıştır. Ancak karakteristik olarak grafikler paralellik göstermektedir.



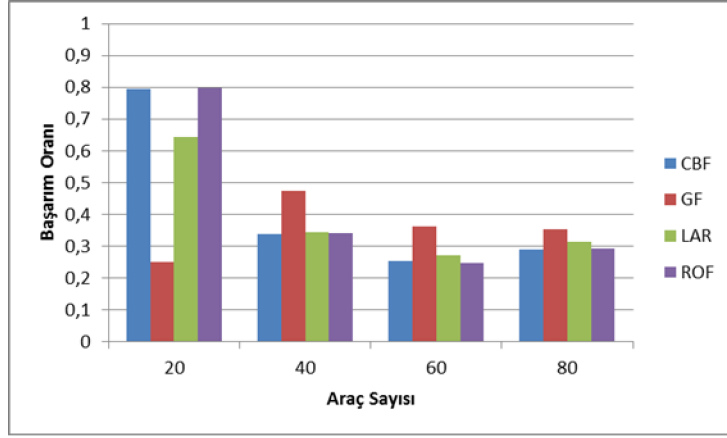
Şekil 6.14 HKDO = %10 için PDO



Şekil 6.15 HKDO = %20 için PDO

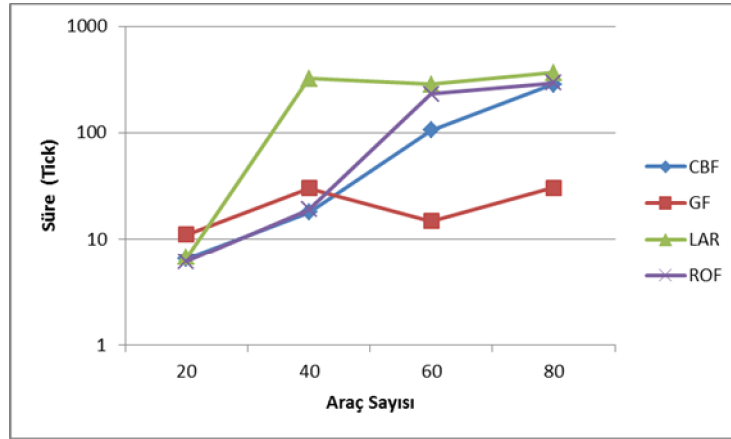


Şekil 6.16 HKDO = %30 için PDO

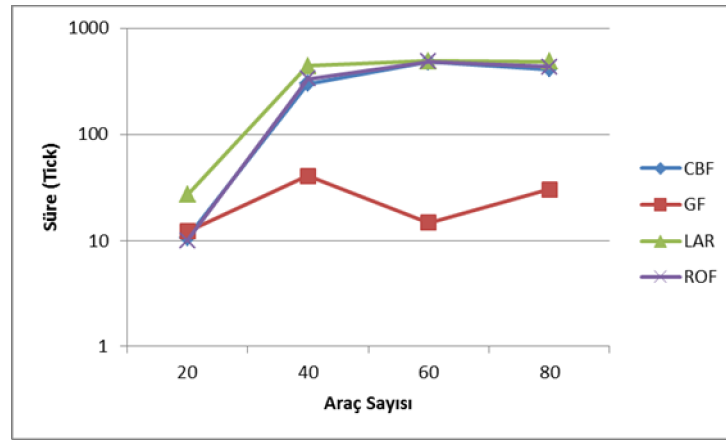


Şekil 6.17 HKDO = %40 için PDO

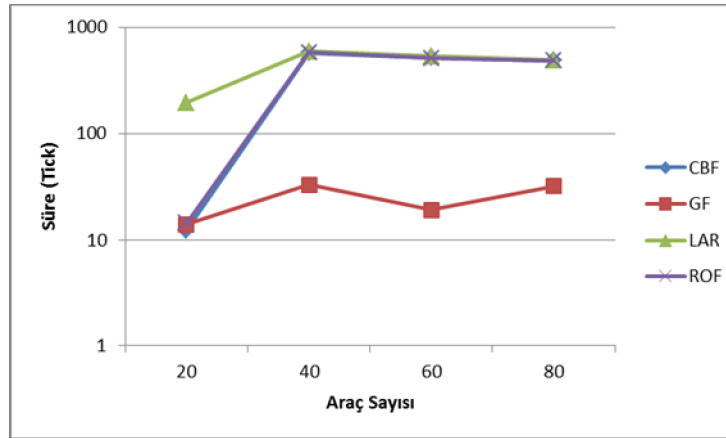
Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, uçtan uca paket gecikmesi verilmiştir. V2I senaryolarında elde edilen paket gecikmelerine ait sonuçlar, V2V senaryolarında elde edilen sonuçlar ile örtüşmektedir.



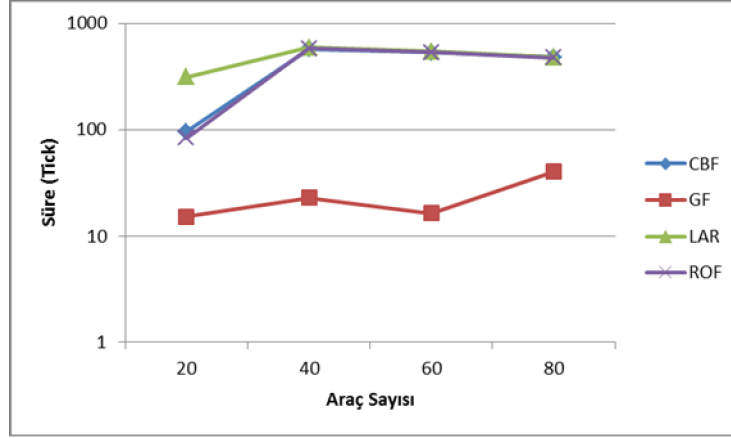
Şekil 6.18 HKDO = %10 için UUGS



Şekil 6.19 HKDO = %20 için UUGS

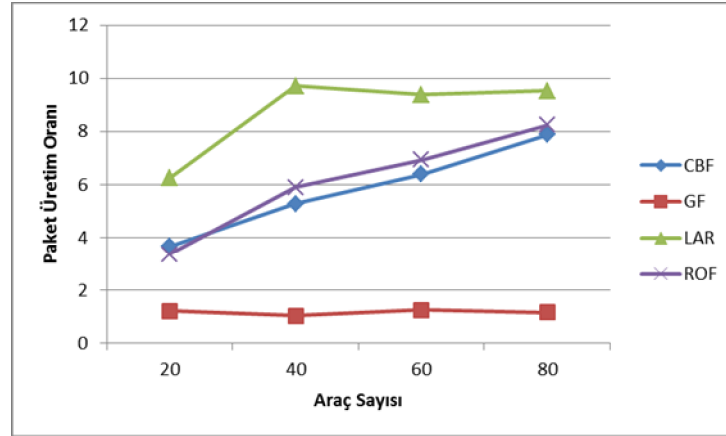


Şekil 6.20 HKDO = %30 için UUGS

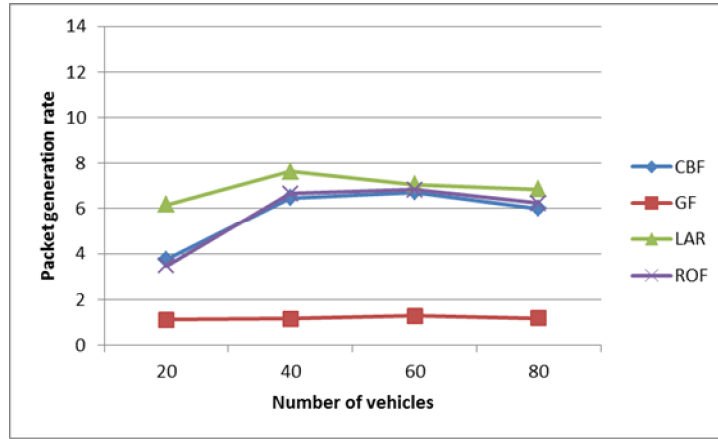


Şekil 6.21 HKDO = %40 için UUGS

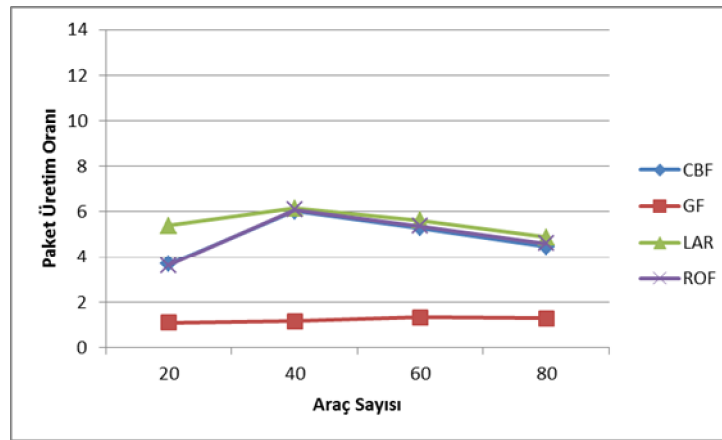
Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, paket üretim oranları verilmiştir. Paket üretim oranları V2I senaryolarında, V2V senaryolarına göre daha yüksektir. Bunun temel nedeni, V2I senaryolarında devreye alınan RSU'ların paket kayıplarını azaltması ve bu paketlerin hedeflerine gönderilmesi için ek paket üretimidir.



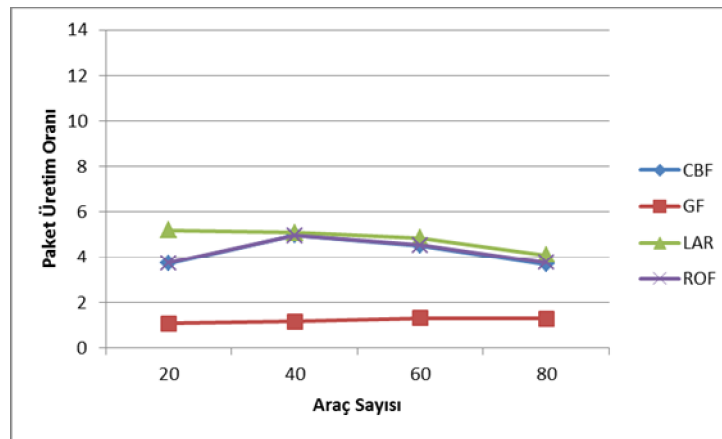
Şekil 6.22 HKDO = %10 için PUO



Şekil 6.23 HKDO = %20 için PUO



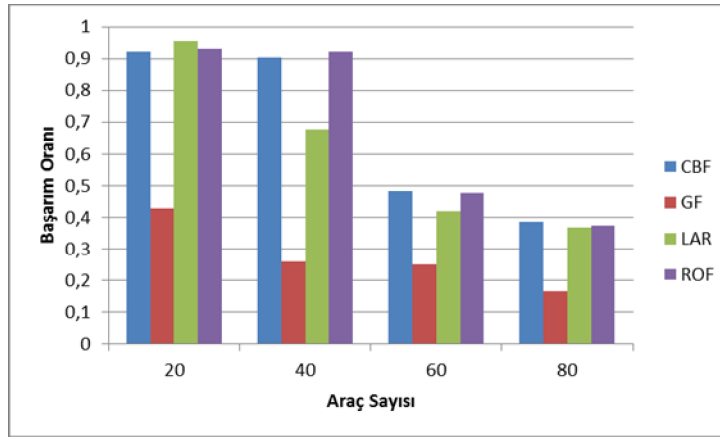
Şekil 6.24 HKDO = %30 için PUO



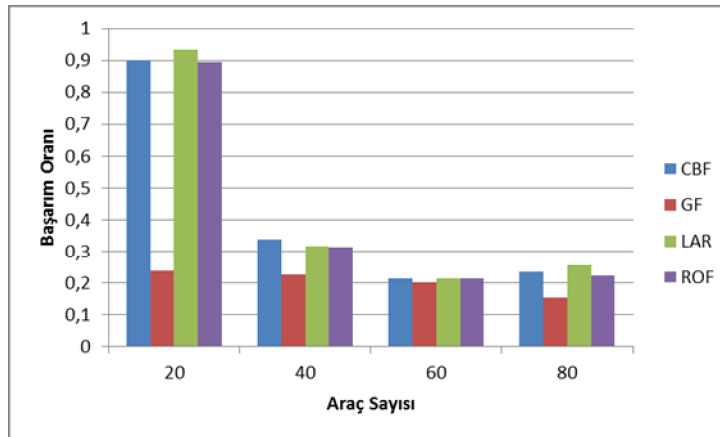
Şekil 6.25 HKDO = %40 için PUO

6.4.1.3 VRV Senaryoları

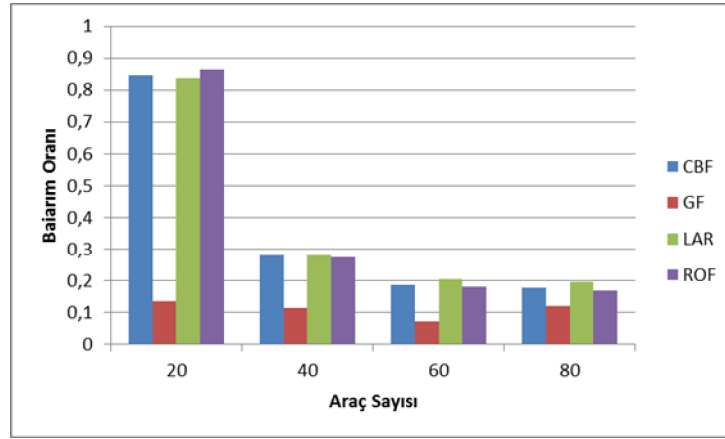
Bölüm 6.3'te belirtilen başarımlar kriterlerine göre VRV senaryoları için gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin paket dağıtım oranları verilmiştir. VRV senaryolarında paket dağıtım oranları, V2I ve V2V senaryolarının arasında kalmıştır. Bunun temel sebebi VRV senaryolarının, V2V ve V2I senaryolarının kombinasyonu şeklinde olmasıdır. VRV senaryolarında RSU'ların kullanılması kayıp paket miktarını azaltırken, hedef düğümün yine hareketli bir araç olması paket dağıtım oranını azaltmaktadır. Aşağıdaki grafikler incelendiğinde bu senaryolara ait paket dağıtım oranının diğer senaryolar ile paralellik gösterdiği görülmüştür.



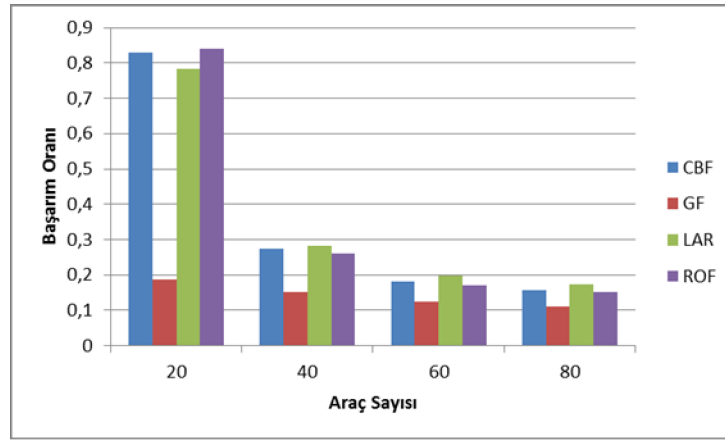
Şekil 6.26 HKDO = %10 için PDO



Şekil 6.27 HKDO = %20 için PDO

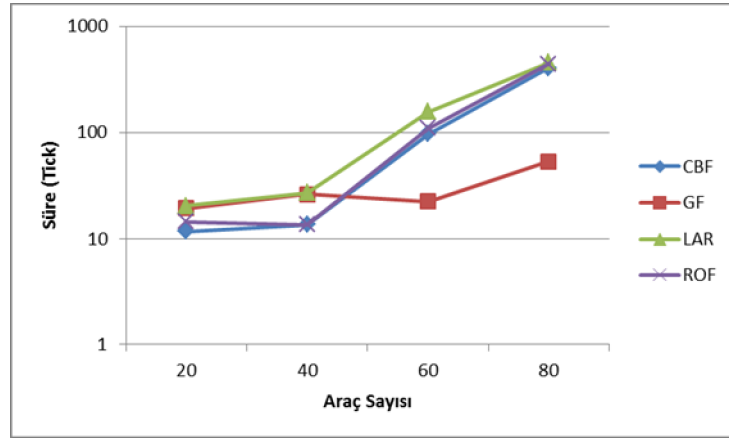


Şekil 6.28 HKDO = %30 için PDO

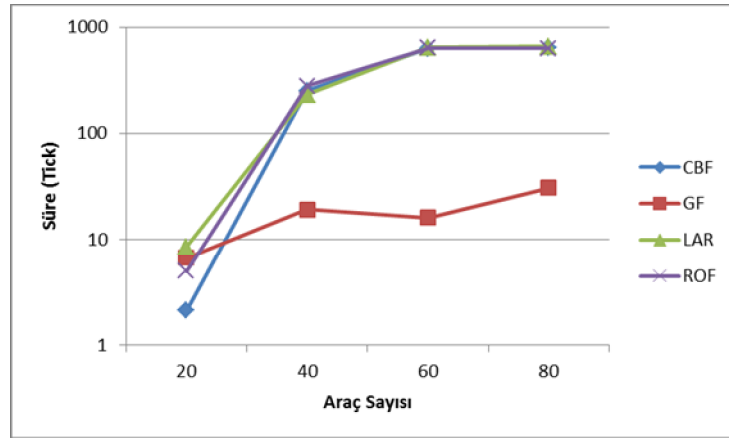


Şekil 6.29 HKDO = %40 için PDO

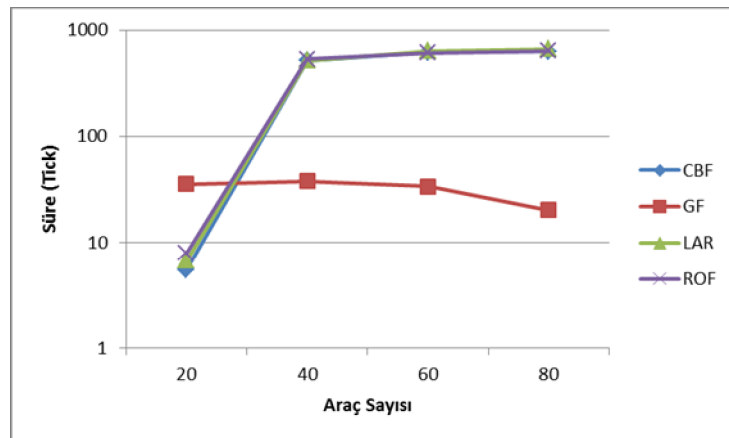
Şekil 6.30, Şekil 6.31, Şekil 6.32 ve Şekil 6.33’de haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, uçtan uca paket gecikmesi verilmiştir. Paket gecikmeleri önceki senaryolar ile paralellik göstermektedir.



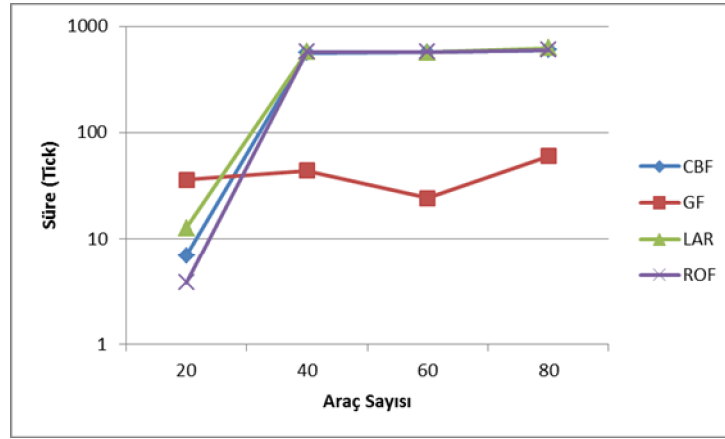
Şekil 6.30 HKDO = %10 için UUGS



Şekil 6.31 HKDO = %20 için UUGS

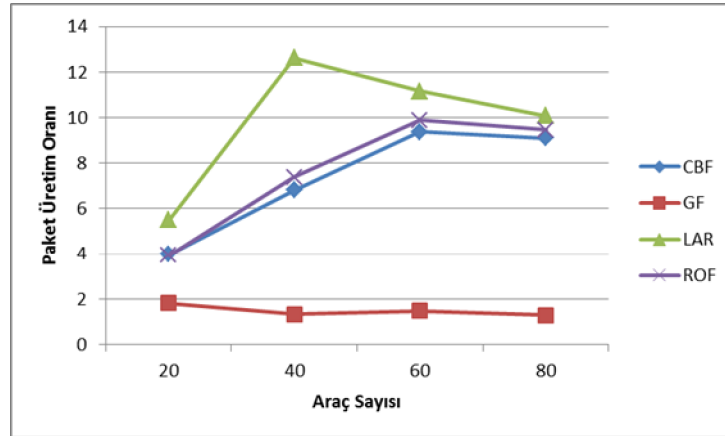


Şekil 6.32 HKDO = %30 için UUGS

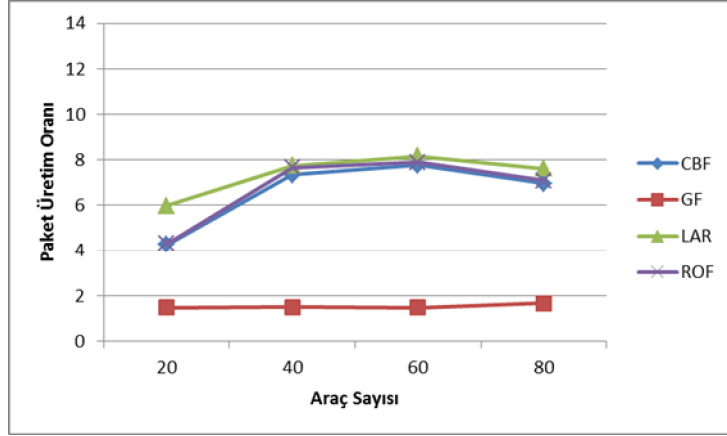


Şekil 6.33 HKDO = %40 için UUGS

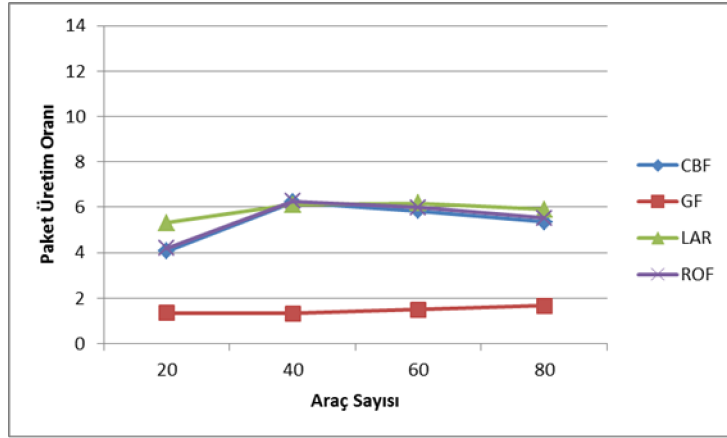
Şekil 6.34, Şekil 6.35, Şekil 6.36 ve Şekil 6.37’de haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, paket üretim oranları verilmiştir. Paket kayıplarının az olması sebebiyle VRV senaryolarında da paket üretim oranları V2V senaryolarına göre daha yüksektir.



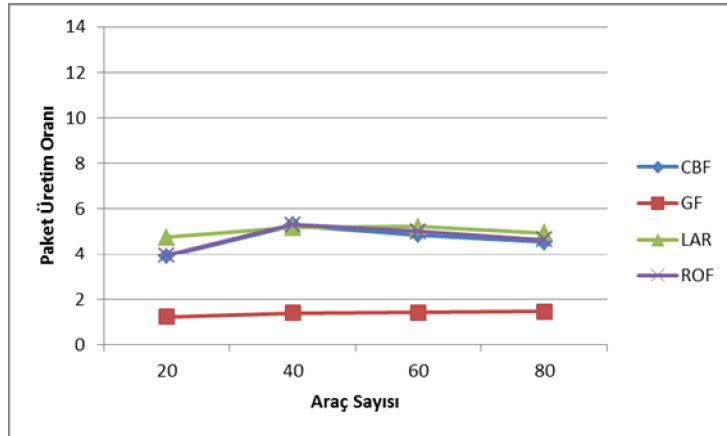
Şekil 6.34 HKDO = %10 için PUO



Şekil 6.35 HKDO = %20 için PUO



Şekil 6.36 HKDO = %30 için PUO



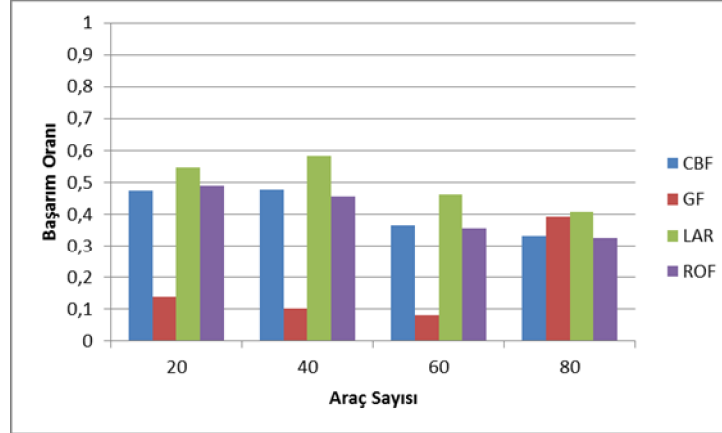
Şekil 6.37 HKDO = %40 için PUO

6.4.2 Şehiriçi Senaryoları

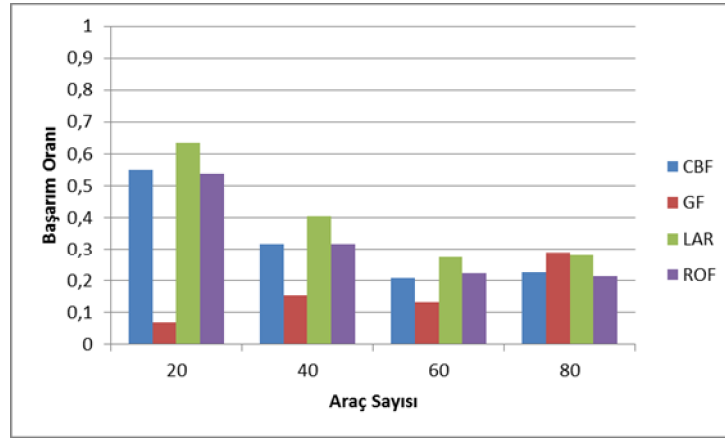
Şehiriçi benzetimlerinde elde edilen sonuçlar, Bölüm 6.1’de tanımlanmış olan haberleşme senaryolarına uygun şekilde gruplanarak alt başlıklar altında verilmiştir.

6.4.2.1 V2V Senaryoları

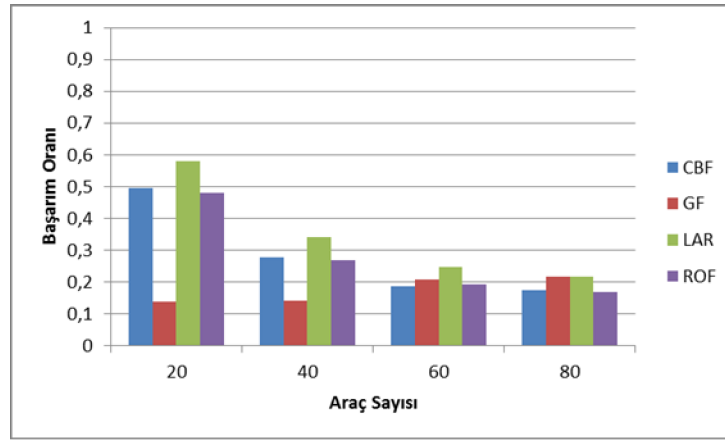
Bölüm 6.3’te belirtilen başarımlarına göre V2V senaryoları için gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Şekil 6.38, Şekil 6.39, Şekil 6.40 ve Şekil 6.41’de haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin paket dağıtım oranları verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, şehiriçi senaryolarındaki paket dağıtım oranlarının, otoyol senaryolarına göre hafif bir artış gösterdiği görülmektedir. Bunun temel nedeni şehiriçi senaryolarında araçların bir ızgara (grid) üzerine yerleştirilmeleri ve bu şekilde birbirlerine daha yakın noktalarda bulunma ihtimallerinin artmasıdır. Ancak bu durum aynı zamanda paket çakışmalarının oluşması ihtimalini de arttırmaktadır. GF protokolünde görülen paket dağıtım oranındaki azalmanın temel nedeni de bu şekilde açıklanabilir.



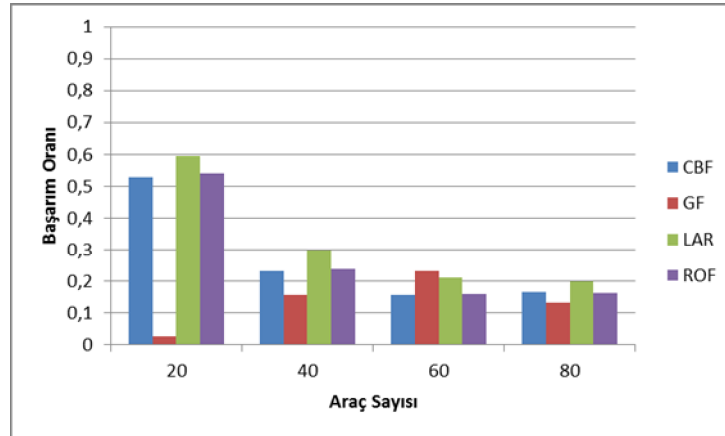
Şekil 6.38 HKDO = %10 için PDO



Şekil 6.39 HKDO = %20 için PDO



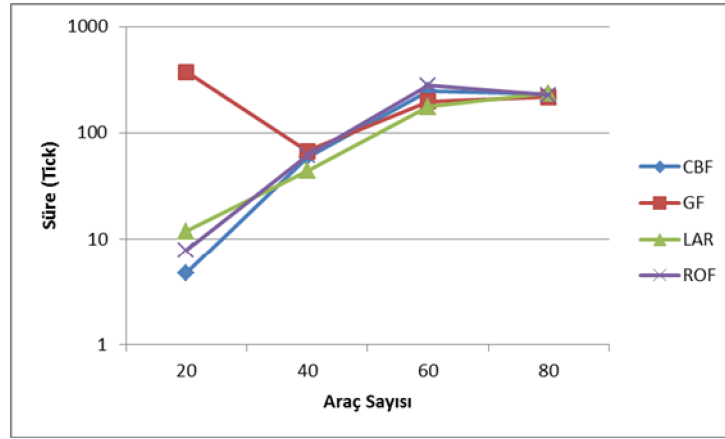
Şekil 6.40 HKDO = %30 için PDO



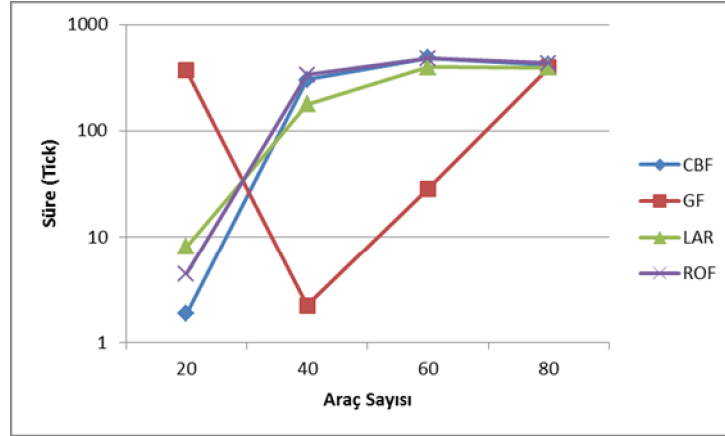
Şekil 6.41 HKDO = %40 için PDO

Şekil 6.42, Şekil 6.43, Şekil 6.44 ve Şekil 6.45'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, uçtan uca paket

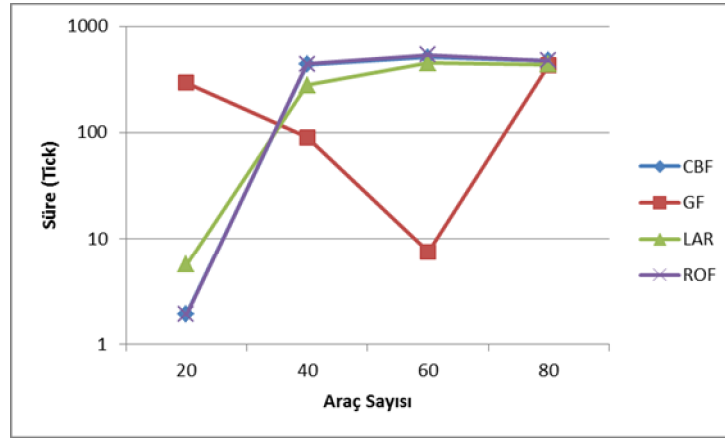
gecikmesi verilmiştir. Alıcı tabanlı protokoller için uçtan uca paket gecikme değerlerinde otoyol senaryoları ile benzerlik göstermektedir. Öte yandan GF protokolüne ait değerlerin, düşük araç yoğunluklarında yüksek, orta yoğunluklarda düşük ve yüksek yoğunluklarda ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni, şehiriçi senaryolarda kullanılan grid yapısından dolayı karayolu alanının otoyol senaryolarına göre iki katı olmasıdır. Bu durum düşük araç sayısına sahip senaryolarda paket iletimi için kullanılabilir araç bulunması ihtimalini azaltmakta ve paketin daha uzun süre kuyrukta kalmasına neden olmaktadır.



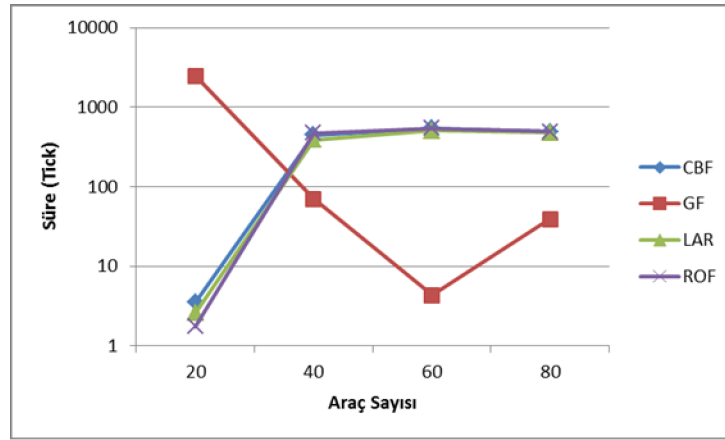
Şekil 6.42 HKDO = %10 için UUGS



Şekil 6.43 HKDO = %20 için UUGS

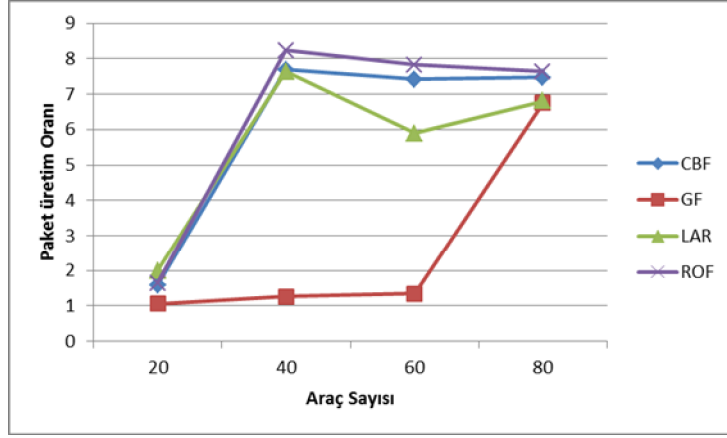


Şekil 6.44 HKDO = %30 için UUGS

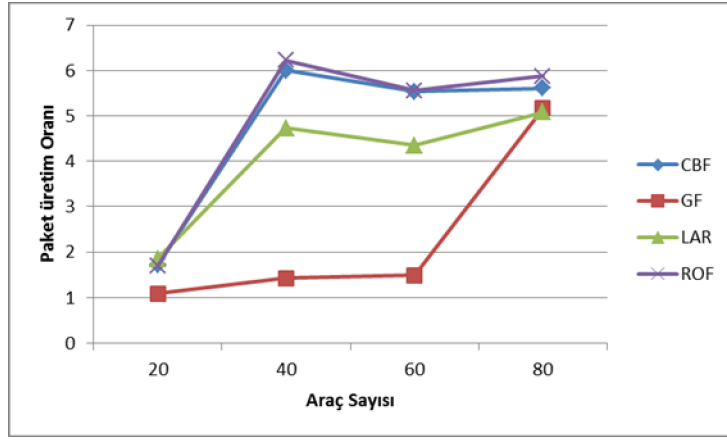


Şekil 6.45 HKDO = %40 için UUGS

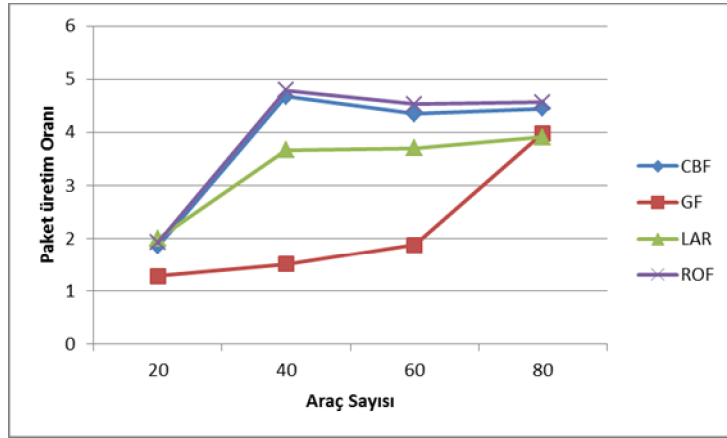
Şekil 6.46, Şekil 6.47, Şekil 6.48 ve Şekil 6.49’da haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, paket üretim oranları verilmiştir. Paket üretim oranları incelendiğinde, sehirçi senaryolarındaki değerlerin, otoyol senaryolarında elde edilen değerler ile paralellik gösterdiği görülmüştür. Araç sayısı arttığında, araç yoğunluğu artmakta ve bu durum paketlerin iletimini kolaylaştırmaktadır. Paket dağıtım oranının artması ile paket üretim oranları da, benzer şekilde artmaktadır. Paket trafiğinin artması ise paket üretimini negatif yönde etkilemektedir. Bunun temel nedeni de paket çakışmasına bağlı olarak yaşanan paket kayıplarının artmasıdır.



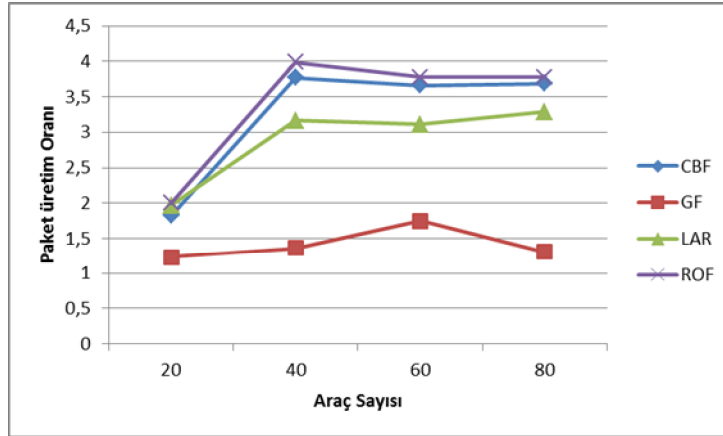
Şekil 6.46 HKDO = %10 için PUO



Şekil 6.47 HKDO = %20 için PUO



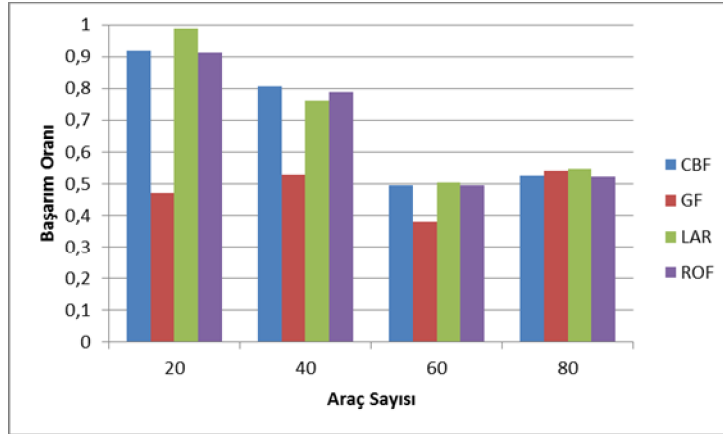
Şekil 6.48 HKDO = %30 için PUO



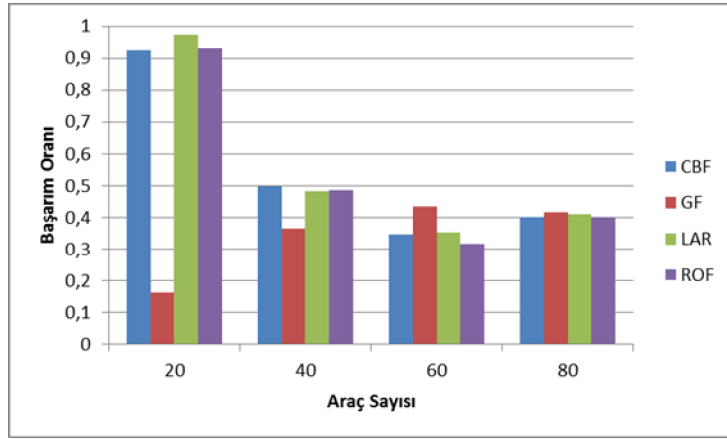
Şekil 6.49 HKDO = %40 için PUO

6.4.2.2 V2I Senaryoları

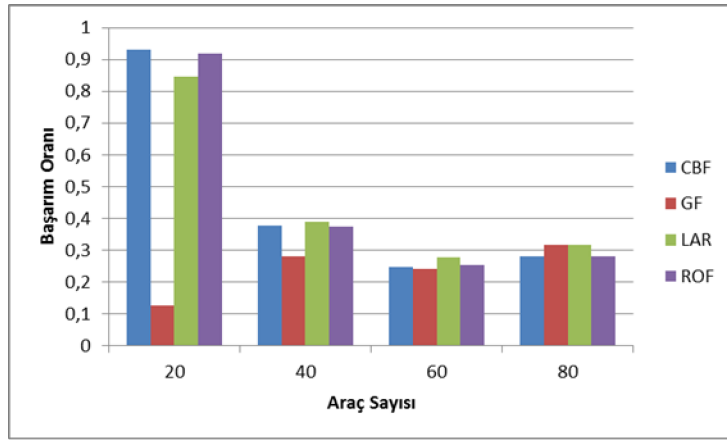
Bölüm 6.3'te belirtilen başarımlar kriterlerine göre V2I senaryoları için gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin paket dağıtım oranları verilmiştir. V2I senaryolarında RSU'ların devreye girmesi ile paket dağıtım oranları, V2V senaryolarına oranla daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Ancak her iki tip senaryodaki grafikler birbirine benzer özellikler sergilemektedir.



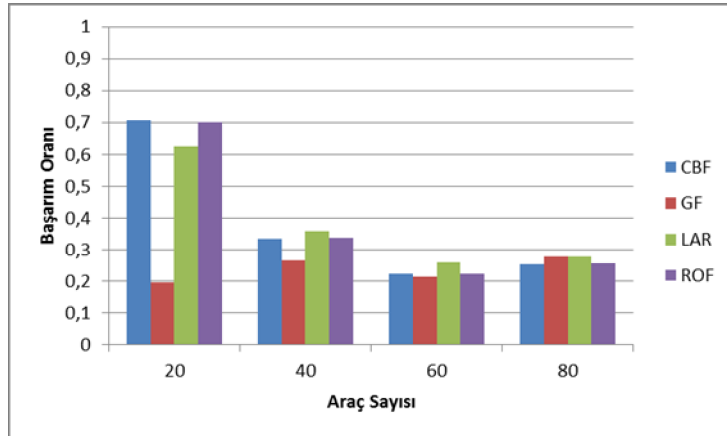
Şekil 6.50 HKDO = %10 için PDO



Şekil 6.51 HKDO = %20 için PDO



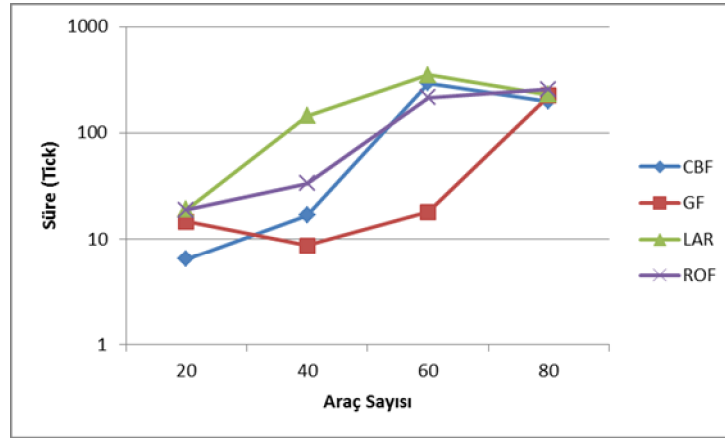
Şekil 6.52 HKDO = %30 için PDO



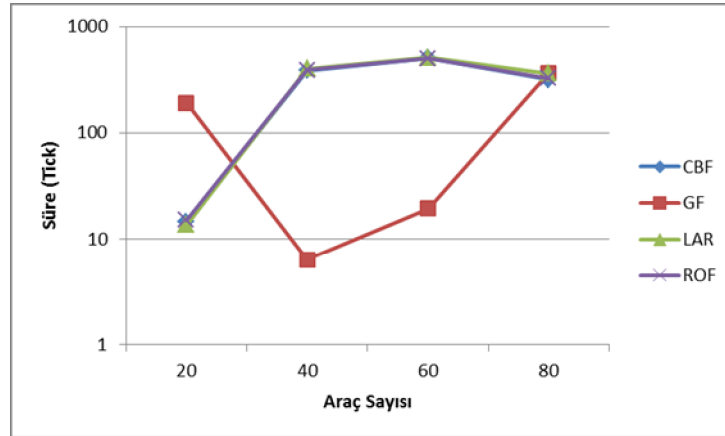
Şekil 6.53 HKDO = %40 için PDO

Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, uçtan uca paket

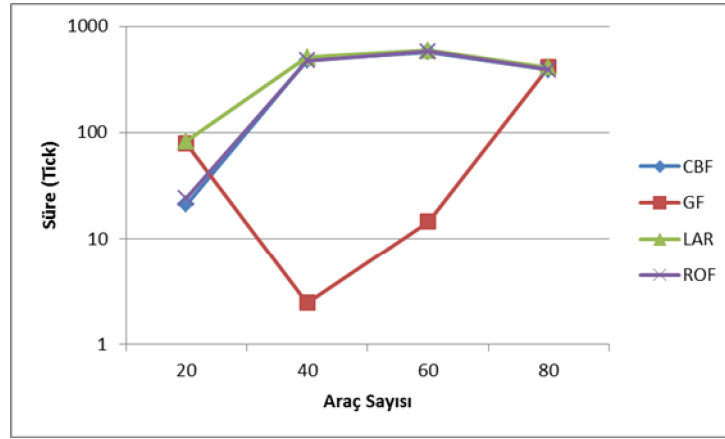
gecikmesi verilmiştir. V2I senaryolarına ait uçtan uca gecikme grafikleri, V2V senaryolarına ait grafikler ile örtüşmektedir. Alıcı tabanlı protokoller için paket trafiğinin artması, paket çakışmalarının artmasına neden olmaktadır. Bunun temel nedeni bu protokollerde kullanılan zaman tabanlı paket iletim mekanizmasıdır. Gönderici tabanlı GF protokolü için ise paket trafiğinin arttığı durumlarda oluşan çakışmalar sonucunda, işaret paketlerinin kaybolmasına bağlı olarak, komşu paket iletiminde kullanılacak komşu düğümlere erişilememekte ve bu durumda paket gecikmelerini arttırmaktadır.



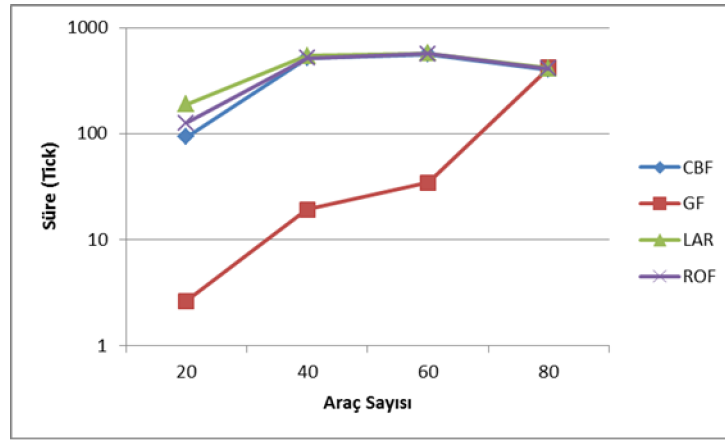
Şekil 6.54 HKDO = %10 için UUGS



Şekil 6.55 HKDO = %20 için UUGS

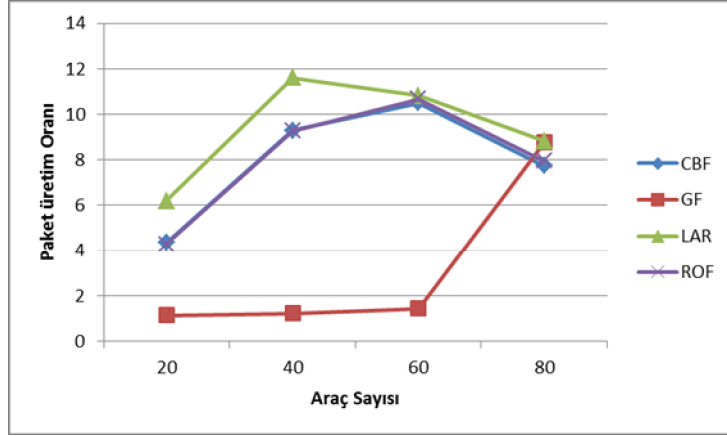


Şekil 6.56 HKDO = %30 için UUGS

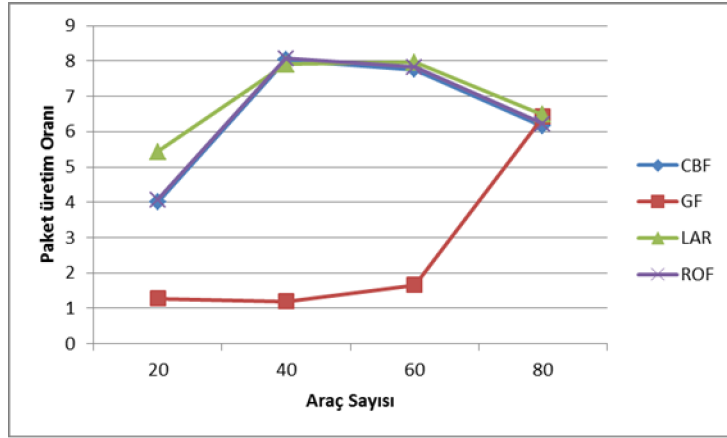


Şekil 6.57 HKDO = %40 için UUGS

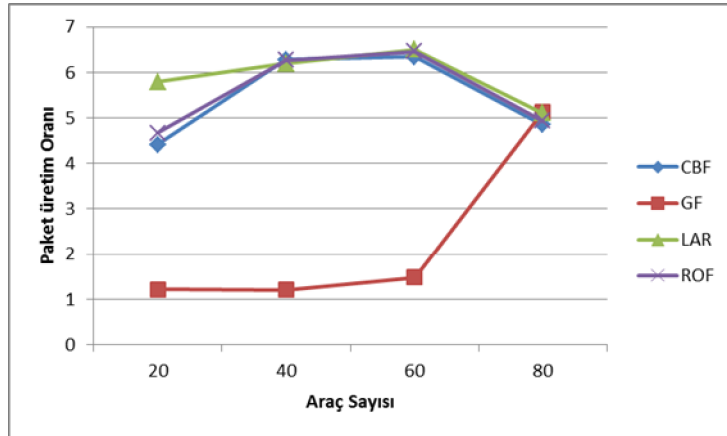
Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranına bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, paket üretim oranları verilmiştir. Araç yoğunluğunun artması paket üretim oranını yükseltirken, paket trafiğindeki artış paket kayıplarına neden olmakta ve paket üretim oranının azalmasına neden olmaktadır.



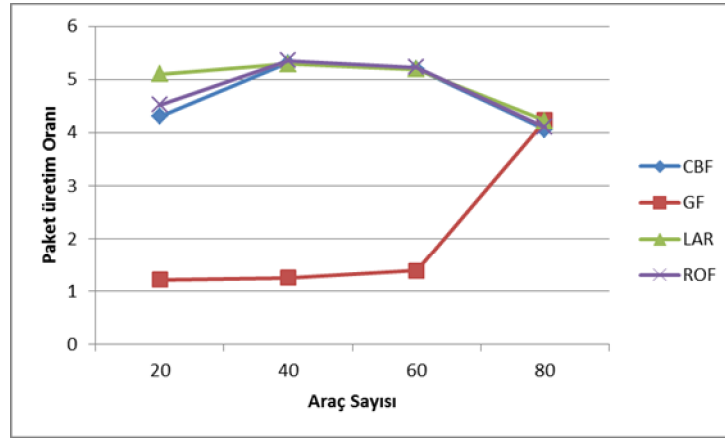
Şekil 6.58 HKDO = %10 için PUO



Şekil 6.59 HKDO = %20 için PUO



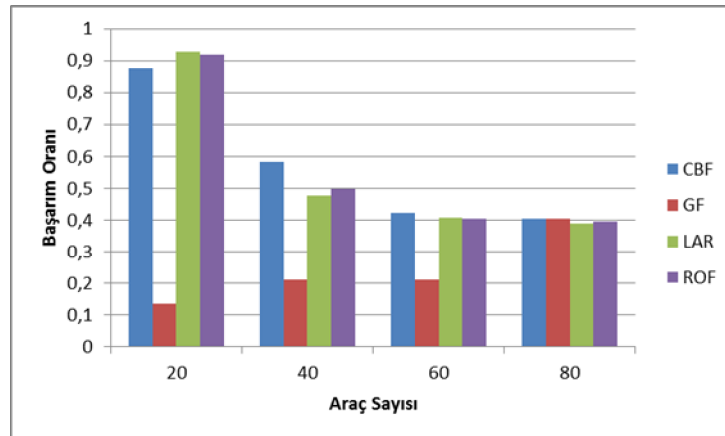
Şekil 6.60 HKDO = %30 için PUO



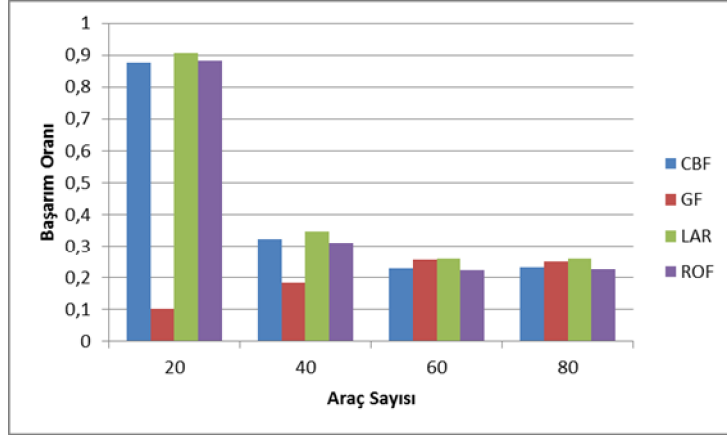
Şekil 6.61 HKDO = %40 için PUO

6.4.2.3 VRV Senaryoları

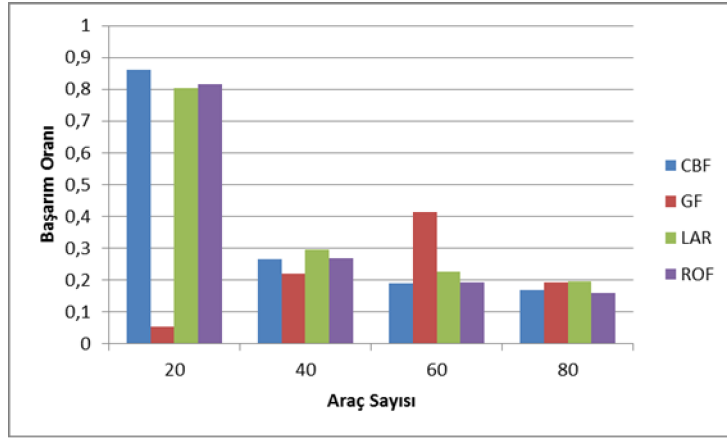
Bölüm 6.3'te belirtilen başarımlarına göre V2V senaryoları için gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin paket dağıtım oranları verilmiştir. Şehir içi VRV senaryolarında hedef düğümlerin daha yakın olması nedeniyle, paketlerin RSU'lar yerine araçlar üzerinden aktarılması tercih edilmektedir. Bu durum VRV senaryolarının V2V senaryoları ile benzerlik göstermesine sebep olmaktadır. Özellikle araç sayısının düşük olduğu senaryolarda, paket aktarımında RSU'lar devreye girmiş ve bu da paket dağıtım oranının yüksek olmasını sağlamıştır. Öte yandan araç miktarının yüksek olduğu senaryolarda RSU kullanımı azalmış ve dolayısıyla paket dağıtım oranı da azalmıştır.



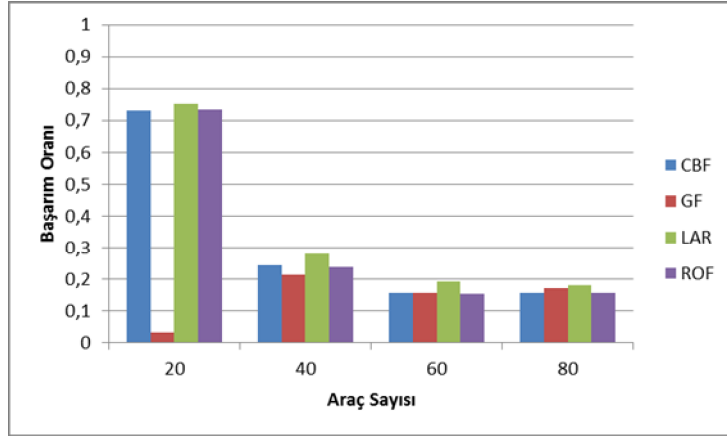
Şekil 6.62 HKDO = %10 için PDO



Şekil 6.63 HKDO = %20 için PDO



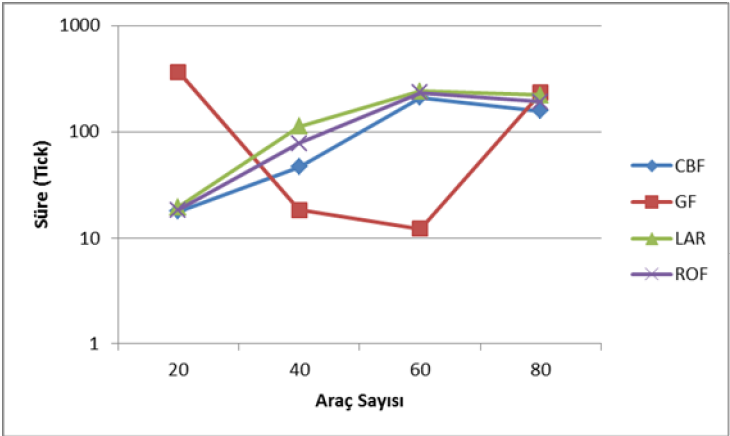
Şekil 6.64 HKDO = %30 için PDO



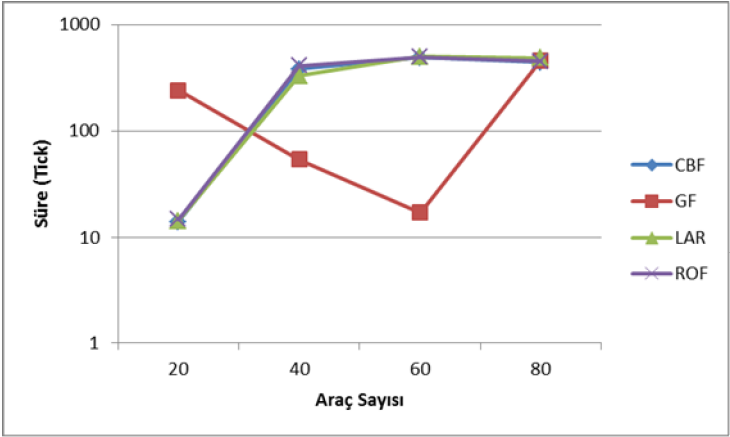
Şekil 6.65 HKDO = %40 için PDO

Şekil 6.66, Şekil 6.67, Şekil 6.68 ve Şekil 6.69’da haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, uçtan uca paket

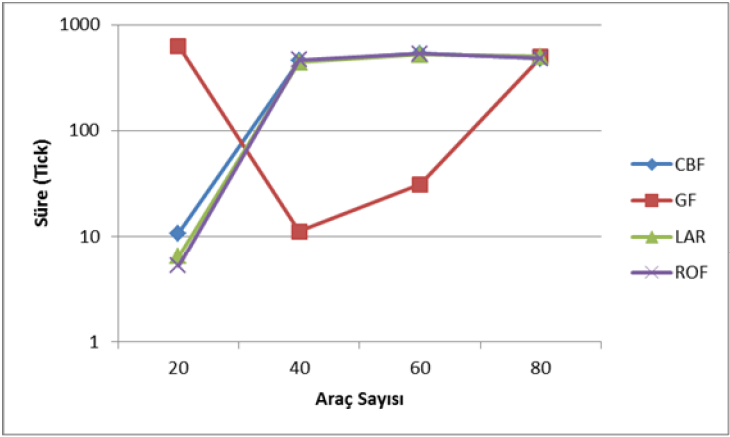
gecikmesi verilmiştir. VRV senaryolarında uçtan uca paket gecikmesine ait elde edilen sonuçlar V2V senaryolarına ait değerler ile örtüşmektedir.



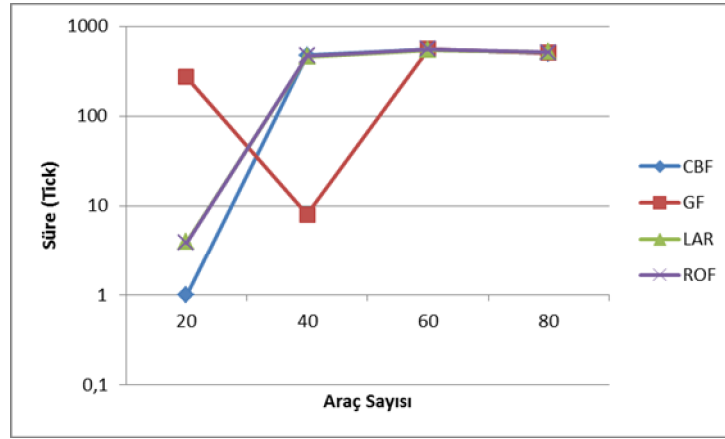
Şekil 6.66 HKDO = %10 için UUGS



Şekil 6.67 HKDO = %20 için UUGS

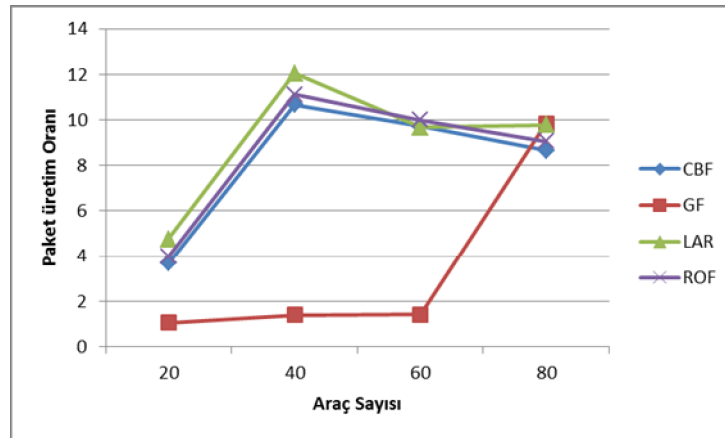


Şekil 6.68 HKDO = %30 için UUGS

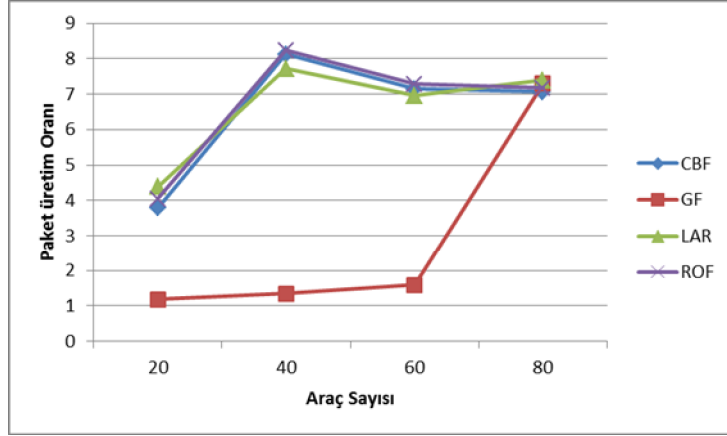


Şekil 6.69 HKDO = %40 için PDO

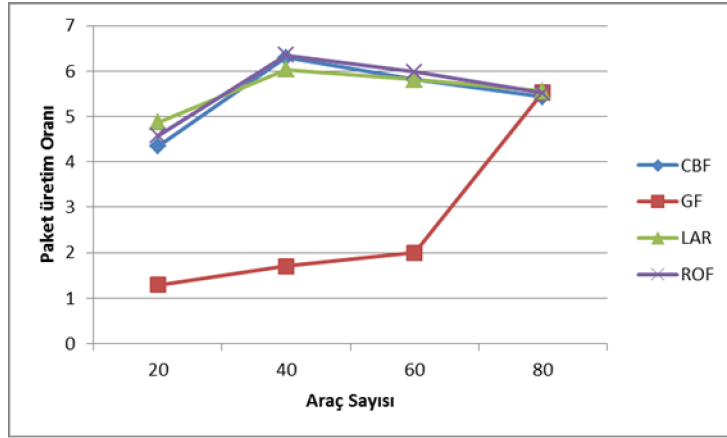
Şekil 6.70, Şekil 6.71, Şekil 6.72 ve Şekil 6.73'te haberleşmeye katılan düğümlerin oranının değişimine bağlı olarak coğrafi yönlendirme protokollerinin, paket üretim oranları verilmiştir.



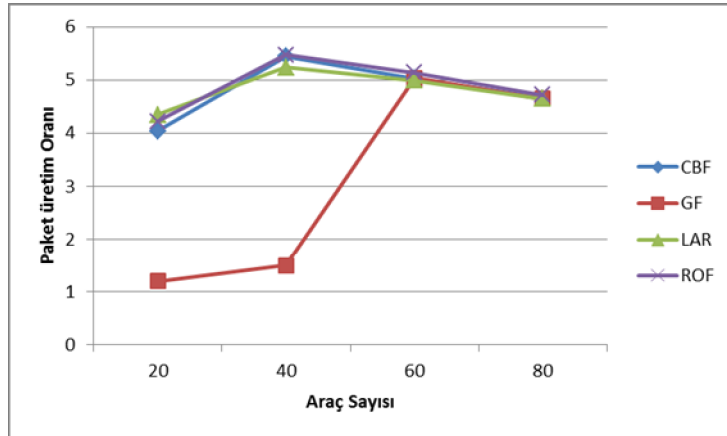
Şekil 6.70 HKDO = %10 için PUO



Şekil 6.71 HKDO = %20 için PUO



Şekil 6.72 HKDO = %30 için PUO



Şekil 6.73 HKDO = %40 için PUO

SONUÇ VE ÖNERİLER

IVC üzerine kurulu ITS'ler hem ulaşım sistemlerinin verimliliğinin artırılması hem de kullanıcıların güvenliğini sağlanması konusunda gelişimin anahtarı konumundadır. IVC sistemlerinin kullanılabileceği emniyet uygulamalarına örnek olarak, kavşaklarda kazaların önlenmesi, şerit korunması ve hareket kontrolü gösterilebilir. IVC sistemleri, kontrollü otobanlar, ücretli geçiş sistemleri, rota iyileştirmesi, çevredeki araçların durumlarına bağlı olarak hız ve yön değişikliği yapabilen araç gruplarının oluşturulması gibi trafik verimliliği uygulamalarında da kullanılabilmektedir.

IVC sistemlerinin zaman içerisinde gelişmesi, bu sistemlerin sürüş emniyeti ve trafik verimliliği uygulamalarının yanı sıra, Internet erişimi ve Internet üzerinden erişilen tüm çoklu-ortam servisleri için de kullanılmasına imkan sağlamıştır. Ancak trafik verimliliği ve sürüş emniyeti uygulamaları ile çoklu-ortam uygulamaları arasında çeşitli yapısal farklar bulunmaktadır. Dolayısıyla IVC üzerine kurulu ağlarda çoklu-ortam servislerinin verilebilmesi için kullanılan coğrafi yönlendirme protokollerinin bu uygulamaların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

Tez kapsamında GeoNet mimarisindeki C2CNet katmanı içerisinde yer alan coğrafi yönlendirme modülünün iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Tez kapsamında IVC uygulamaları ve çoklu-ortam servislerinin yönlendirme ihtiyaçları ortaya konulmuş, mevcut coğrafi yönlendirme protokollerinin detaylı bir şekilde incelenerek GeoNet mimarisine uygunlukları tartışılmıştır. Mevcut coğrafi yönlendirme protokolleri, gönderici tabanlı ve alıcı tabanlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Geliştirilen IVC uygulamaları ve standartlar genellikle gönderici tabanlı yönlendirme protokollerine yer verilmekle

beraber alıcı tabanlı yönlendirme protokollerinin değerlendirilmesi gerektiğini belirtilmektedir. Tez kapsamında mevcut alıcı tabanlı protokoller incelenerek, bu algoritmaların çoklu-ortam servisleri için uygunluğu tartışılmıştır. Bu inceleme sonucunda alıcı tabanlı protokollerden CBF, LAR, ve ROF seçilmiştir. Bu protokollerin başarımlarının değerlendirilmesinde kriter olarak GeoNet spesifikasyonlarında ve ETSI standardında kullanılan GF protokolü kullanılmıştır. Tüm bu protokollerin başarımlarının değerlendirilmesi için benzetim ortamından faydalanılmıştır. Kullanılan benzetim ortamı ve bu ortamın seçimine dair detaylı bilgi EK-A'da verilmiştir.

Coğrafi yönlendirme protokollerinin başarımlarının değerlendirilmesi için bu protokollerin herbiri NCTUns-6.0 benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşmiş olan protokollerin başarımlarının ölçülmesi için ETSI standardında belirtilen haberleşme senaryoları ve araç trafiğine özgü durumlar göz önünde bulunarak benzetimlerde değerlendirilmesi gereken senaryolar belirlenmiştir. Benzetimler sırasında araç trafiği, ağ altyapısı, paket trafiği ve yönlendirme protokollerine ait benzetim parametreleri belirlenmiş ve bu parametreler için genel geçer değerler belirlenmiştir. Daha sonra protokollerin başarımlarının ölçülmesi için kullanılacak olan kriterler belirlenmiştir. Bu senaryolar doğrultusunda, coğrafi yönlendirme protokollerinin çeşitli kriterleri için başarımları hesaplanmıştır. Geliştirilen protokollerin testleri sırasında kullanılan senaryolar, benzetim parametreleri, başarımlar kriterlerine ait detaylı bilgi verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, alıcı tabanlı protokollerin gönderici tabanlı GF protokolüne göre hem şehiriçi hem de otoyol senaryolarında paket dağıtım oranı açısından daha başarılı olduğu görülmüştür. Alıcı tabanlı protokoller arasında ise LAR protokolü diğer protokollere göre daha yüksek başarı göstermektedir. Öte yandan alıcı tabanlı protokoller, GF protokolüne göre daha yüksek uçtan uca paket gecikmesi değerleri üretmiştir. Paket üretim oranı açısından da beklenildiğinin aksine alıcı tabanlı protokollerin daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Alıcı tabanlı protokoller ile ilgili bu iki durumun temel nedeni, bu protokoller kapsamında paket iletiminde kullanılan zaman aşımı mantığına dayalı mekanizmalardır. Bu mekanizmaların geliştirilmesi, alıcı tabanlı protokollerin başarımlarının daha da arttırılmasına imkan sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] S. Tsugawa, 2008. "A history of automated highway systems in japan and future issues", IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, (ICVES 2008), 2008
- [2] Shladover S., 1992. "The california path program of ivhs research and its approach to vehicle-highway automation", Proceedings of the Intelligent Vehicles '92 Symposium, 1992.
- [3] Gehring O., ve Fritz H., 1997. "Practical results of a longitudinal control concept for truck platooning with vehicle to vehicle communication", IEEE Conference on Intelligent Transportation System (ITSC '97), Nov. 1997
- [4] Reichardt D., Miglietta M., Moretti L., Morsink P., Schulz W., 2002. "Cartalk 2000: safe and comfortable driving based upon inter-vehicle-communication", IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 2002
- [5] Enkelmann W., 2003. "Fleetnet - applications for inter-vehicle communication", Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2003.
- [6] "CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto," <http://www.car-to-car.org>, Haziran 2012
- [7] Henniger O., Apvrille L., Fuchs A., Roudier Y., Ruddell A., Weyl B., 2009. "Securityrequirements for automotive on-board networks", 9th International Intelligent Transport Systems Telecommunications,(ITST), 20-22 Oct. 2009.
- [8] Kumar V., Lin L., Krajzewicz D., Hrizi F., Martinez O., Gozalvez J., Bauza R., 2010. "itetris: Adaptation of its technologies for large scale integrated simulation," IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), May 2010.
- [9] Amditis A., Floudas N., Kaiser-Dieckhoff U., Hackbarth T., Van Den Broek B., Miglietta M., Danielson L., Gemou M., Bekiaris E., 2008. "Integrated vehicle's lateral safety: the lateral safe experience," Intelligent Transport Systems, 2 (1) : 15 –26.
- [10] Brignolo R., 2010. "Safe & reliable tunnels. innovative european achievements infrastructure/vehicle communication." 2010.

- [11] Papadimitratos P., Buttyan L., Holczer T., Schoch E., Freudiger J., Raya M., Ma Z., Kargl F., Kung A., Hubaux J.-P., 2008. "Secure vehicular communication systems: design and architecture," IEEE Communications Magazine, 46 (11) : 100–109.
- [12] "CO-Operative Systems for Intelligent Road Safety Project", <http://www.coopers-ip.eu> , Mart 2010.
- [13] "Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems Project," <http://www.cvisproject.org>, Temmuz, 2012
- [14] "The European project PRE-DRIVE C2X", <http://www.pre-drive-c2x.eu>, Haziran 2011.
- [15] Mariyasagayam M., Menouar H., Lenardi M., 2008. "Geonet: A project enabling active safety and ipv6 vehicular applications", IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2008), 2008.
- [16] "ETSI TS 102 636-4-1 : Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality V1.1.1," march 2011. <http://www.etsi.org/>, Haziran 2012
- [17] "ETSI TS 102 636-6-1 : 'Internet Integration; Sub-part 1: Transmission of IPv6 Packets over GeoNetworking Protocols V1.1.1," June 2011. <http://www.etsi.org/>, Haziran 2012
- [18] "GeoNet-D2.2 Final GeoNet Specification," <http://www.geonet-project.eu>, Haziran 2011
- [19] Khaled Y., Tsukada M., ve Ernst T., 2009. "Geographical information extension for ipv6: Application to vanet", 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST2009), 2009,
- [20] Taysi, Z.C., Yavuz, A.G., 2012. "Routing Protocols for GeoNet: A Survey", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13 (2) : 939-954, June 2012
- [21] Li L., Sun L., Ma J., Chen C., 2008. "A receiver-based opportunistic forwarding protocol for mobile sensor networks", 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS '08), June 2008.
- [22] Blum B. M., He T., Son S., Stankovic J. A., 2003. "Igf: A state-free robust communication protocol for wireless sensor networks," CS Department, University of Virginia Tech., 2003
- [23] Xu Y., Lee W.-C., Xu J., Mitchell G., "Psgr: priority-based stateless geo-routing in wireless sensor networks", IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, Nov., 2005
- [24] Liu G., Lee B.-S., Seet B.-C., Foh C.-H., Wong K.-J., ve Lee K.-K., 2004. "A routing strategy for metropolis vehicular communications", Lecture Notes in Computer Science, Information Networking, Springer Berlin / Heidelberg, 2004,

- [25] Mariyasagayam M., Osafune T., ve Lenardi M., 2007. "Enhanced multi-hop vehicular broadcast (mhvb) for active safety applications", 7th International Conference on Telecommunications (ITST '07), 2007
- [26] Ding Y., Wang C., ve Xiao L., 2007. "A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks", in Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '07), New York, NY, USA, 2007
- [27] Korkmaz G., Ekici E., Ozguner F., ve Ozguner U., 2004. "Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems", Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '04), New York, NY, USA, 2004
- [28] Rongxi H., Rutagemwa H. ve Xuemin S., 2008. "Differentiated reliable routing in hybrid vehicular ad-hoc networks", IEEE International Conference on Communications (ICC '08), May 2008
- [29] Liao W.-H., Tseng Y.-C., Lo K.-L., ve Sheu J.-P., 2000. "Geogrid: A geocasting protocol for mobile ad hoc networks based on grid," Journal of Internet Technology, 2000
- [30] Santos R. A., Edwards A., Edwards R. M., ve Seed N. L., 2005. "Performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc networks", International Journal of Ad Hoc Ubiquitous Computing, 1 : 80–91, November 2005
- [31] Abuelela M., ve Olariu S., 2007. "Traffic-adaptive packet relaying in vanet," in Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, ser. VANET '07. New York, USA, 2007
- [32] Korkmaz G., Ekici E., ve Ozguner F., 2006. "An efficient fully ad-hoc multi-hop broadcast protocol for inter-vehicular communication systems", IEEE International Conference on Communications (ICC '06), 2006
- [33] Young-Bae K., ve Vaidya N., 2000. "Geotora: a protocol for geocasting in mobile ad hoc networks", Proceedings of International Conference on Network Protocols, 2000.
- [34] Sun W., Yamaguchi H., Yukimasa K., ve Kusumoto S., 2006. "Gvgrid: A qos routing protocol for vehicular ad hoc networks", 14th IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS 2006), 2006
- [35] Y.-B. Ko and N. Vaidya, "Geocasting in mobile ad hoc networks: location-based multicast algorithms", Proceedings of Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99), Feb. 1999
- [36] Wu H., Fujimoto R., Guensler R., ve Hunter M., 2004. "Mddv: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks", Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '04), New York, NY, USA, 2004
- [37] Kihl M., Sichitiu M., Ekeroth T., ve Rozenberg M., 2007. "Reliable geographical multicast routing in vehicular ad-hoc networks", Proceedings of the 5th

international conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC '07), Berlin, 2007

- [38] Fasolo E., Zanella A., ve Zorzi M., 2006. "An effective broadcast scheme for alert message propagation in vehicular ad hoc networks", IEEE International Conference on Communications (ICC '06), 2006
- [39] Naumov V. ve Gross T., 2007. "Connectivity-aware routing (car) in vehicular ad-hoc networks", INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications, May 2007,
- [40] Karp B., Kung H. T., 2000. "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks", Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, 2000
- [41] Lochert C., Mauve M., Fussler H., ve Hartenstein H., 2005. "Geographic routing in city scenarios," SIGMOBILE Mobile Comput. Commun., January 2005
- [42] Morris R., Jannotti J., Kaashoek F., Li J., ve Decouto D., 2000. "Carnet: a scalable ad hoc wireless network system," in Proceedings of the 9th workshop on ACM SIGOPS European workshop: beyond the PC: new challenges for the operating system, New York, NY, USA, 2000
- [43] Lochert C., Hartenstein H., Tian J., Fussler H., Hermann D., ve Mauve M., 2003. "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments", Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2003.
- [44] Jerbi M., Meraihi R., Senouci S.-M., ve Ghamri-Doudane Y., 2006. "Gytar: improved greedy traffic aware routing protocol for vehicular ad hoc networks in city environments", Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '06), New York, NY, USA, 2006
- [45] Hyuncheol K., Paik J., Bumhan L., ve Donghoon L., 2008. "Sarc: A street-based anonymous vehicular ad hoc routing protocol for city environment", IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC '08), 2008
- [46] Yan G., Rawat D., veri El-Tawab S., 2009. "Ticket-based reliable routing in vanet", IEEE 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS '09), Oct. 2009
- [47] Zhao J. ve Cao G., 2008. "Vadd: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 57 (3) : 1910 – 1922, May 2008
- [48] Heissenbttel M., Braun T., Bernoulli T., Wlchli M., 2003. "Blr: Beacon-less routing algorithm for mobile ad-hoc networks", Elseviers Computer Communications Journal (Special Issue), 27 : 1076–1086
- [49] Fler H., Hartenstein H., Mauve M., Effelsberg W., Widmer J., 2004. "Contention-based forwarding for street scenarios", 1st International Workshop in Intelligent Transportation (WIT 2004), 2004.

- [50] Ko Y.-B., ve Vaidya N. H., 2000. "Location-aided routing (lar) in mobile ad hoc networks", *Wireless Networks*, 6 : 307–321, July 2000.
- [51] "The Network Simulator - ns-2," <http://isi.edu/nsnam/ns/>, Haziran 2011,
- [52] Arbabi H., ve Weigle M., 2010. "Highway mobility and vehicular ad-hoc networks in ns-3", *Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC)*, Dec. 2010,
- [53] "OMNeT++ discrete event simulation environment", <http://www.omnetpp.org/>, Haziran 2012
- [54] Wang S.-Y., ve Lin C.-C., 2008. "Nctuns 5.0: A network simulator for IEEE 802.11(p) and 1609 wireless vehicular network researches," *IEEE 68th Vehicular Technology Conference (VTC 2008)*, Sept. 2008,
- [55] Martinez F. J., Cano J.-C., Calafate C. T., Pietro Manzoni, 2008. "CityMob: a mobility model pattern generator for VANETs", *IEEE Vehicular Networks and Applications Workshop (VehiMobi 2008)*, China, 2008.
- [56] "MObility model generator for VEhicular networks", <http://www.lens1.csie.ncku.edu.tw/MOVE/>, Haziran 2011
- [57] Behrisch M., Bieker L., Erdmann J., ve Krajzewicz D., 2011. "Sumo -simulation of urban mobility: An overview", *The Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, Barcelona, Spain, 2011
- [58] Piorkowski M., Raya M., Lugo A., Papadimitratos P., Grossglauser M., ve Hubaux J.-P., 2008. "TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 12 (1) : 31–33
- [59] Kumar V., Lin L., Krajzewicz D., Hrizi F., Martinez O., Gozalvez J., ve Bauza R., 2010. "itetris: Adaptation of its technologies for large scale integrated simulation", *2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring)*, May 2010
- [60] Sommer C., German R., ve Dressler F., 2011. "Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved ivc analysis", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10 (1) : 3 –15.

BENZETİM ORTAMININ BELİRLENMESİ

Geliştirilen IVC protokollerinin gerçekçi şartlar altında test edilmesi VANET araştırmaları alanındaki en önemli problemlerden biridir. Geliştirilen IVC protokol ve uygulamalarının başarımlarının değerlendirilmesi için genellikle benzetim tekniklerinden faydalanılmaktadır. Bunun temel nedenleri gerçek araçlar üzerinde yapılan denemelerin yüksek maliyetli olması ve sınırlı sayıdaki araç ile gerçekleştirilebilmesidir.

Yeni nesil ITS uygulamaları hem sürücü davranışları hem de araçlar arasındaki haberleşmeyi temel alarak geliştirilmektedir. Bu tip uygulamaların uygun şekilde benzetiminin yapılabilmesi için her iki yapının da gerçeğe yakın şekilde benzetimini yapabilen benzetimcilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, tümleşik benzetim ortamları, trafik benzetimcisi ile ağ benzetimcisinin ayrıştırılarak kullanıldığı ortamlar, trafik benzetimcisi ile ağ benzetimcisinin karşılıklı olarak birleştirildiği ortamlar ve matematiksel benzetim modelleridir.

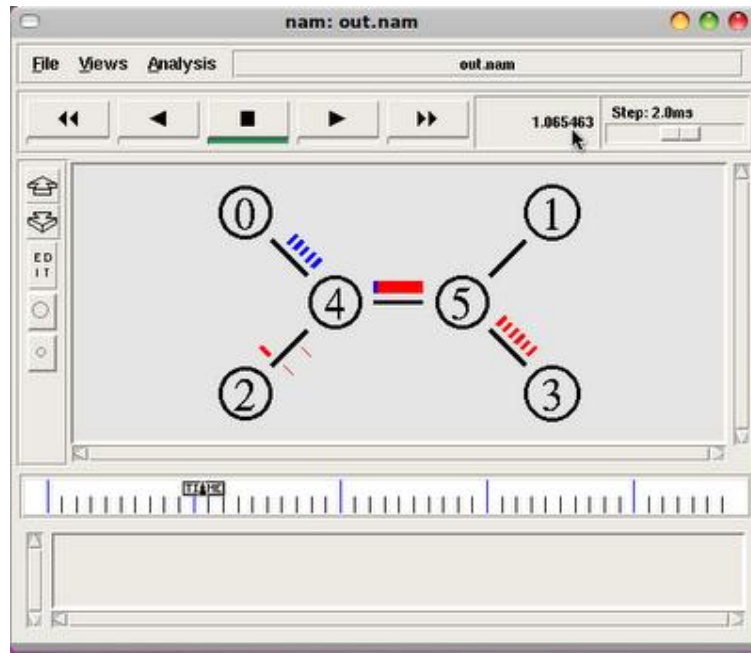
Bu bölümde mevcut benzetim ortamları, kullandıkları yöntemlere göre sınıflandırılarak incelenmiş ve geliştirilen coğrafi yönlendirme katmanının testinde kullanılacak olan benzetim ortamı belirlenmiştir.

A-1 Tümleşik Benzetim Ortamları

Tümleşik benzetim ortamları IVC protokol ve uygulamalarının test edilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun temel nedenlerinden biri mevcut birçok haberleşme protokolüne ait gerçekçi modellere sahip olmasıdır. Bu tip benzetim

ortamlarının en büyük avantajı ise sağladıkları kurulum ve kullanım kolaylıklarıdır. Bu tip benzetim ortamlarının en bilinenleri ns-2[51], ns-3[52], OMNeT[53], ve NCTUns[54]'tir.

ns-2. University of Southern California'da ağ uygulamaları için geliştirilmiş bir ayrık olay benzetimcisidir. ns-2 kablolu ve telsiz ağlar için TCP, yönlendirme ve çokla gönderim (multicast) desteği sağlamaktadır. ns-2 C++ ve Nesneye dayalı Tcl (OTcl) dilleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ns-2 benzetim ortamı 1996'da geliştirilmeye başlanmış ve 2011 yılına kadar yeni versiyonları oluşturulmaya devam edilmiştir. Şekil Ek-A.1'de ns-2 benzetim ortamının arayüzüne ait bir ekran görüntüsü verilmiştir.

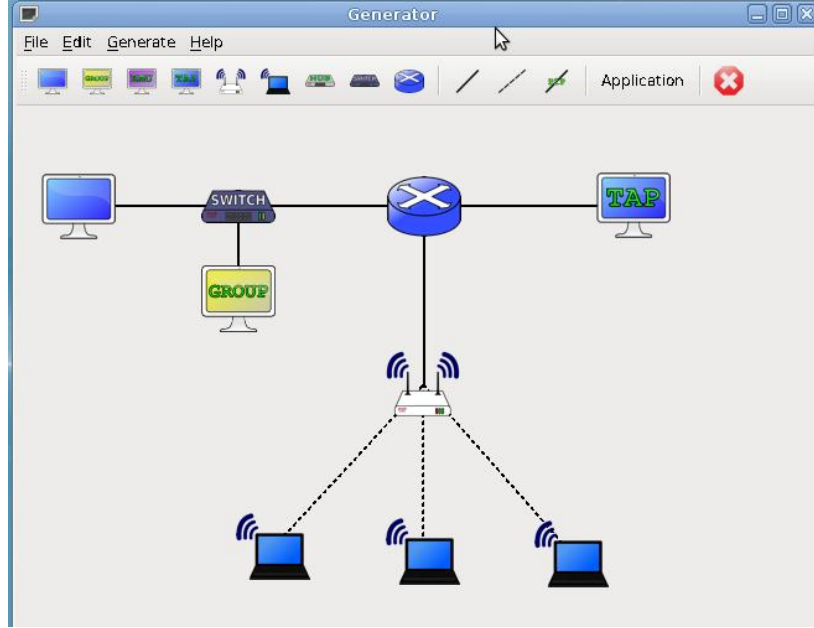


Şekil Ek-A.2 ns-2 benzetim ortamına ait ekran görüntüsü

ns-2 benzetim ortamının hareketli ağlar için desteği oldukça sınırlıdır. Ayrıca tez kapsamında gerçekleştirilecek olan yönlendirme protokollerinin üzerinde çalışacağı IEEE 802.11p MAC katmanına ait bir destek sunmamaktadır. Bunun yanı sıra bu benzetim ortamında geliştirilen uygulamaların, benzetim ortamına ait özel fonksiyon kullanılarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

ns-3. Yine University of Southern California'da geliştirilen bu benzetim ortamı ns-2 benzetim ortamının yeni versiyonudur. Ancak ns-2 ile arasında geriye yönelik bir destek

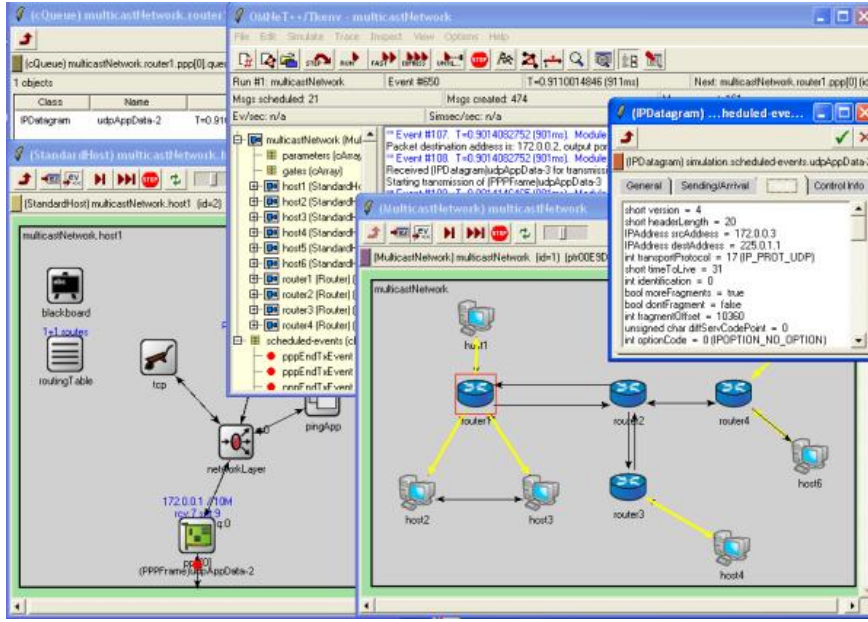
bulunmamaktadır. ns-3 tamamen C++ kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca Python programlama dili için de desteği mevcuttur. Benzetim ortamında çalıştırılan uygulamalar, C++ veya Python ile yazılmış çalıştırılabilir uygulamalardır. Şekil Ek-A.2’de ns-3 arayüzüne ait bir ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil Ek-A.3 ns-3 benzetim ortamına ait ekran görüntüsü

ns-3 benzetim ortamında, hareketli ağlar ile ilgili destek ns-2 benzetim ortamına göre geliştirilmiştir. Ancak IEEE 802.11p MAC katmanına ilişkin destek oldukça sınırlıdır. Benzetim ortamının orjinal paketleri arasında IEEE 802.11p desteği olmamakla beraber, üçüncü şahıslar tarafından geliştirilen modüller ile bu destek sağlanmaya çalışılmaktadır.

OMNeT++. Bu benzetim ortamı ticari olup, akademik ve kar amacı gütmeyen uygulamalar için ücretsiz kullanım hakkı sağlanmaktadır. OMNeT++ genişletilebilir, modüler benzetim kütüphanesidir. Bu kütüphane içerisindeki modülleri birbirlerine bağlamak için kapılar kullanılmaktadır. Modüller ve modülleri bağlayan kapılar bir ayar dökümanına yazılarak karmaşık yapıların oluşturulması sağlanabilir. Oluşturulan yapılar bir derleyiciden geçirilerek benzetim oluşturulur. OMNeT++ kullanımına yönelik bir ekran görüntüsü Şekil Ek-A.3’te verilmiştir.



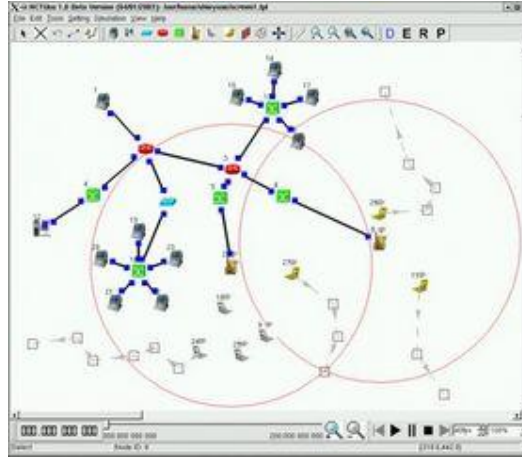
Şekil Ek-A.4 OMNeT++ benzetim ortamına ait ekran görüntüsü

OMNeT++ kütüphaneleri içerisinde IEEE 802.11p MAC katmanını destekleyen hazır bir modül olmamak ile beraber, kullanıcılar tarafından yazılmış çeşitli modüller bulunmaktadır. OMNeT++ benzetim ortamında, hareketli ağlar için destek bulunmakla beraber, bu destek oldukça sınırlıdır. Bu destek IVC benzetimin gerçekleşmesi için bir otoyol veya şehir ortamının oluşturulmasına yeterli değildir.

NCTUns. Bu benzetim ortamı National Chiao Tung Üniversitesi, Computer Science and Information Bölümünde, Network and System Laboratuvar tarafından geliştirilmiştir. NCTUns benzetim ortamının en önemli özelliği özellikle hareketli ağlar ve IVC için geliştirilmiş olmasıdır. Bu özelliği ile diğer benzetim ortamlarından ayrılmaktadır. NCTUns benzetim ortamının kullanımına yönelik bir ekran görüntüsü Şekil Ek-A.4'te verilmiştir.

NCTUns basit araç trafiği benzetimine imkan vermektedir. Araçlar kendi konum bilgilerini benzetim ortamına ait fonksiyonları kullanarak öğrenebilmektedir. NCTUns benzetim ortamı, socket programlama kullanılarak yazılmış uygulamaların, TCP/IP gibi gerçek protokol katmanları kullanılarak çalıştırılmasına imkan vermektedir. Tüm bu özelliklerinden dolayı da tez kapsamında gerçekleştirilen benzetimler için NCTUns-6.0 benzetim ortamı kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun yanısıra NCTUns benzetim

ortamı 6.0 versiyonundan sonra ticari bir benzetim ortamı olan ESTInet benzetim ortamına aktarılmıştır.



Şekil Ek-A.5 NCTUns benzetim ortamına ait ekran görüntüsü

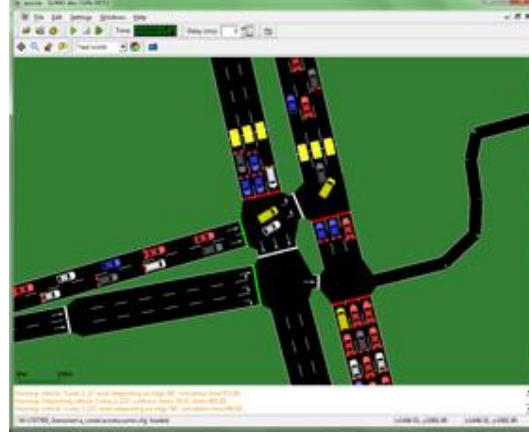
A-2 Trafik Benzetimci ile Ağ Benzetimcinin Ayrıştırıldığı Benzetim Ortamları

Bu yaklaşımda bir trafik benzetimci ile bir ağ benzetimci beraber kullanılmaktadır. Trafik benzetimci araçların trafik içerisindeki hareketlerinin kontrolünden sorumlu iken ağ benzetimci, araçlar arasındaki haberleşmenin kontrolünden sorumludur. Trafik benzetimcisinden elde edilen hareket bilgisi ağ benzetimcisine aktararak benzetim içerisindeki araçların konumları devamlı olarak güncellenir. Araçlara ait hareket bilgisinin oluşturulmasında genellikle CityMob[55], MOVE[56] ve SUMO[57] gibi yaygın trafik benzetimcilerinden biri kullanılmaktadır.

CityMob. Şehiriçi araç trafiğine ilişkin senaryoların yaratılmasında kullanılan CityMob, kaza durumlarında yaratılmasına imkan vermektedir. Ns-2 benzetim ortamı ile beraber kullanılmak üzere geliştirilen CityMob üç farklı hareket modelini desteklemektedir. Bu modeller, Simple Model (SM), Manhattan Model (MM) and Downtown Model (DM)'dir. Bu modellerden en gerçekçisinin Downtown modeli olduğu CityMob'un geliştiricileri tarafından da gösterilmiştir[55].

SUMO. Trafik benzetim ortamları arasında en yaygın olarak kullanılanlardan biridir. SUMO farklı araç tiplerinin tanımlanmasına, çakışmasız araç hareketlerinin oluşturulmasına, birden fazla şeritli yolların oluşturulmasına, araçların şerit değiştirmesine, yolların dinamik olarak belirlenmesine imkan vermektedir. Bunun

yanısıra SUMO ile birçok ağ benzetimi tarafından kullanılabilir trafik izlerinin oluşturulmasına imkan vermektedir. SUMO tüm ayarların yapılması ve trafik izlerinin oluşturulması için grafik tabanlı bir kullanıcı arayüzü sunmaktadır. Şekil Ek-A.5'te SUMO trafik benzetimcisine ait bir ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil Ek-A.6 SUMO trafik benzetim ortamına ait ekran görüntüsü

MOVE. MOVE trafik benzetim ortamı temel olarak SUMO benzetim ortamının üzerine kurulmuştur. SUMO benzetim ortamının sağladığı özelliklerin yanında, otobüsler için güzergah ve saat çizelgelerin belirlenmesi gibi özelliklere de sahiptir.

A-3 Trafik Benzetimci ile Ağ Benzetimcisinin Karşılıklı Olarak Birleştirilmesi

Trafik benzetimci ile ağ benzetimcisinin karşılıklı olarak birleştirilmesi, IVC protokol ve uygulamalarının benzetimlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan diğer yöntemlere göre daha yeni bir yöntemdir. Bu yöntemde, trafik benzetimci tarafından oluşturulan araçlara ait hareket bilgisi ağ benzetimciye, benzer şekilde ağ benzetimcisinde gerçekleşen haberleşmeler sonucu gerçekleşen konum ve yön değişiklikleri de trafik benzetimcisine aktırılmaktadır. Bu şekilde geliştirilen IVC uygulamalarının araç trafiği üzerindeki etkisi daha net biçimde ölçülerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir. TraNS[58], iTETRIS[59], VEINS[60] bu tip benzetim ortamlarından en yaygın olarak bilinenlerindendir.

TraNS. TraNS SUMO ve ns-2 benzetim ortamlarının karşılıklı olarak eşleştirilmesi ile oluşturulmuş bir benzetim ortamıdır. TraNS benzetim ortamının geliştirilmesi 2008

yılında durdurulmuştur. Bu yüzden mevcut SUMO versiyonu ile entegre edilmesi de mümkün olmamaktadır.

iTETRIS. iTETRIS benzetim ortamı üç modülden oluşan bir yapıya sahiptir. Bu modüllerden birincisi trafik benzetimi için kullanılan SUMO benzetim ortamıdır. Diğer modül ise ns-3 ağ benzetim ortamıdır. Bu iki modülün karşılıklı olarak haberleştirilmesi için iTETRIS Control System (iCS) adı verilen üçüncü bir blok oluşturulmuştur.



Şekil Ek-A.7 VEINS benzetim ortamına ait ekran görüntüsü

VEINS. VEINS benzetim ortamı, SUMO trafik benzetim ortamı ve OMNeT++ ağ benzetim ortamının MiXiM adı verilen OMNeT modülü kullanılarak birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

A-4 Matematiksel Modeller

Bu tip yöntemlerin en önemli avantajı benzetimlerin oldukça kısa sürelerde gerçekleştirilebilmesidir. Bu tip benzetim ortamlarına örnek olarak [19] çalışması gösterilebilir. Makro trafik modeli, VANET’lerde kullanılan bilgi dağılımı modeli ve ayrık olay tabanlı protokol benzetimini Matlab/Simulink ortamını kullanarak birleştirmişlerdir. Önerilen sistem 2000 saniyelik bir benzetimi birkaç saniye içerisinde gerçekleştirebilmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar, diğer benzetim ortamlarına kıyasla daha az gerçekçidir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Z. Cihan TAYŞI
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.02.1980 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce, Latince
E-posta : cihan@ce.yildiz.edu.tr; cihan@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2002
Lise	Fen Bilimleri	Kabataş Erkek Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2003 -	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2009-2010	State University of New York, Buffalo	Araştırmacı (Doktora)
2009	TÜBİTAK	Danışman

YAYINLARI

Makale

1. (2012) TAYSI Z. C., YAVUZ A. G., "Routing protocols for GeoNet : A survey", Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13 (2) : 939 -954 , 2012 2011

Kitap Bölümleri

- 1.(2007) Tayşi, Z. C., Yavuz, A. G., "" **WSEAS Intl. European Computing Conference (ECC 2007), Lecture Notes In Electrical Engineering (Springer Verlag)**, Athens, Greece, September, 2007
2. (2007) Çelik, E., Tayşi, Z. C., Yavuz, A. G., "" **WSEAS Intl. European Computing Conference (ECC 2007), Lecture Notes In Electrical Engineering (Springer Verlag)**, Athens, Greece, September, 2007
3. (2007) Guvensan M. A., Taysi Z. C. ve Yavuz A. G., "*Multiple Base Station Positioning for Sensor Application Using Continuous Data Delivery Model with the New Heuristic k-Means Local+ Algorithm*", **WSEAS Intl. European Computing Conference (ECC 2007), Lecture Notes In Electrical Engineering (Springer Verlag)**, Athens, Greece, September, 2007

Uluslararası Bildiri

1. (2012) Tayşi, Z. C. , Yavuz, A. G., “ETSI compliant GeoNetworking protocol layer implementation for IVC Simulations”, **2012 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems**, Amman, Jordan, 2012
2. (2011) Guvensan, M. A. , Yavuz, A. G. , Tayşi, Z. C. , Karsligil, M. E. , Celik, E., “Image Processing Capabilities of ARM-based Micro-controllers for Visual Sensor Networks”, **IFIP 9th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)**, Melbourne, Australia, 2011
3. (2010) Çelik, E. , Tayşi, Z. C. , Yavuz, A. G., “Porting Contiki to the MSP-EXP430F5438”, **4th European DSP Education and Research Conference**, France, 2010
4. (2010) Tayşi Z. C., Guvensan M. A. ve Melodia T., "*TinyEARS: Spying On House Appliances with Audio Sensors*", **2nd Intl. ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy Efficiency in Buildings (BUILDSYS 2010)**, Zurich, Switzerland, November, 2010
- 5.(2009) Yavuz, A. G. , Tayşi, Z. C. , Çelik, E., “In-Cave Wireless Communication System”, **Third International Conference and Exhibition on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST 2009)**, England, 2009

Ulusal Bildiriler

- 1.(2012) Camgoz, N. C., Ozturk, R., Güvensan, M. A. , Tayşi, Z. C. , Yavuz, A. G., “Image Processing Capabilities Of New Generation ARM Cores For WMSNs”, **IEEE 20th Signal Processing and Communications**

Applications Conference, Fethiye, Turkey, April 2012

2. (2012) 2. Tayşi, Z. C. , Yavuz, A. G., “ETSI compliant GeoNetworking protocol layer implementation for NCTUns”, **IEEE 20th Signal Processing and Communications Applications Conference**, Fethiye, Turkey, April 2012
3. (2010) Guvensan M. A. ve Tayşi Z. C., "*Environmental Sound Classification for House Appliances*", **Proc. of the 18th IEEE (National) Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU 2010)**, Diyarbakir, Turkey, April, 2010
4. (2009) Tayşi Z.C., Guvensan M. A., Yavuz A. G., "Multiple Base Station Placement with k-Means Local+",**Proc. of the 17th IEEE (National) Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU 2009)**, Antalya, Turkey, April, 2009

Proje

1. (2011) Tayşi Z. C., Karslıgil M.E., OTAM Otomotiv Teknolojileri Araştırma Geliştirme Sanayi ve Ticaret ile 2010/149 nolu proje kapsamında
2. (2011) Tayşi Z. C., Celik E., Guvensan M. A., Yavuz A. G., “Çoklu Ortam Algılayıcı Düğüm Tasarımı ve Gerçeklenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2010-04-01-KAP01