

# Araçsal Ağlar

## K.Kaan Sevimli, Müjdat Soytürk

Deniz Harp Okulu, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
ksevimli@dho.edu.tr, msoyturk@dho.edu.tr

**Özet:** Tasarsız (ad hoc) ağların bir parçası olan Araçsal Ağlar Vehicular Ad Hoc Networks – VANET olarak bilinir. Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin neticesinde bu alanda çalışmalar hızlanmıştır. Araçsal Ağlar, hayat kurtarma ve trafik akışını düzenlemeye yönelik geliştirilmiş ağlardır. Sabit bir altyapıya ihtiyaç duymadığı gibi sistem performansını arttırmaya yönelik olarak hücrel ağ altyapısını ve yolkenarı birimleri gibi sabit altyapıyı da kullanabilir. Diğer tüm ağlar da olduğu gibi Araçsal Ağlarda da ağ bağılılığı çok önemlidir. Bu bildiride, Araçsal Ağların kullanım alanları, kullandığı teknolojiler, literatürde yer alan problemler ve çözüm yöntemleri irdelenmektedir. Ayrıca farklı mimaride ki Araçsal Ağlar'ın (yol kenarı birimi ve hücrel ağ altyapısı kullanan) avantajları ve dezavantajları açıklanmaktadır. Yapılan incelemeler neticesinde, ağ performansını iyileştirmeye yönelik öneri ve yapılan çalışmalar sunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Araçsal Ağlar, DSRC, Sakla-Taşı-Gönder, VANET, Tasarsız Ağlar.

## Vehicular Networks

**Abstract:** Vehicular Networks which is part of the Ad Hoc Networks is known as Vehicular Ad Hoc Networks – VANET. Studies in this area have been expedited related to recent technological advances. Vehicular Networks has been developed aiming to regulate traffic and save life. Though it is infrastructureless, it may access infrastructure of cellular networks or may use Road Side Units to increase the performance of the system. As in other type of networks, network connectivity is of high importance in vehicular networks. In this paper, applications of vehicular networks, the technology that it use, problems and proposed approaches in the literature have been examined. In addition, the advantages and disadvantages of vehicular networks of different architecture (road side units and those which use cellular infrastructure) have been explained. Current studies and approaches subject to improve the performance of the system have been presented.

**Keywords:** Vehicular Networks, DSRC, Store Carry Forward, VANET, Ad Hoc Networks.

## 1. Giriş

Son yıllarda Araçsal Ağlar (Vehicular Ad Hoc Networks - VANETs) alanında çalışmalar ve uygulamalar hızla gelişim göstermektedir. İlk uygulamalar güvenliğe yönelik olsada, ticari alanlardaki uygulama çalışmaları hızlanmıştır.

Güvenliğe yönelik uygulamalar; yol yardımı (navigasyon, şerit ihlali), yol bilgisi (hız limiti, yol çalışması yapılan mevki), uyarı mesajları (trafik tıkanıklık ve kaza bilgisi) olarak örneklenebilir. Bu uygulamalarda gecikme çok önemlidir ve ilgili araçlarla gerçek zamanda iletişim kurulmalıdır. Bir kaza veya ani fren yapıldığında bu bilgi anında gönderilerek çevredeki araçların kaza yapmaları önlenir. Fakat kaza sonrasında uyarı amaçlı gönderilecek yol tıkanıklık bilgisi/trafik durumu gecikme toleranslı olabilir.

Ticari uygulamalar tamamiyle sürücünün ve yolcuların konforuna yönelik uygulamalardır. Yolculuk esnasında, internet erişimi, reklamlar (yol üzerinde bulunan benzin istasyonları, alışveriş merkezleri, restoranlar tarafından araçlara yapılan yayınlar), araçlar arası mesajlaşma bu tür

uygulamalara örnektir. Ticari alandaki uygulamaların güvenlik alanındaki uygulamaları kısıtlamaması / engel olmaması esas alınmalıdır. Bunu sağlamak için güvenlik uygulamalarına öncelik atamak veya farklı fiziksel kanalları kullanmak çözüm olabilir. Ayrıca, Araçsal Ağların uygulama alanlarındaki farklılıklara göre ihtiyaç duyduğu servis kalitesine (Quality of Service – QoS) ihtiyaçları da farklılaşmaktadır. Uygulamaların detaylı bir şekilde sınıflandırılması Bölüm 2'de yer almaktadır.

Araçsal Ağlar'ın en büyük avantajı ağ altyapısına gerek duymayan tasarsız (ad hoc) doğası nedeniyle çok kolay ve hızlı bir şekilde kurulabilmesidir. Bu özelliği sayesinde kritik durumlarda (deprem, sel baskını.vb.) alternatif bir iletişim ağı olarak da kullanılabilir.

İkinci bölümde, Araçsal Ağ uygulamaları anlatılmaktadır. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde, Araçsal Ağ karakteristikleri ve özellikleri, beşinci ve takip eden bölümlerde kullanılan teknoloji ve yöntemler anlatılmaktadır. Yapılan çalışmalar onuncu bölümde sunulmuştur. Son bölüm sonuçlara ayrılmıştır.

Uygulama Alanları	Amaç/Durum	Uygulama Örnekleri
Aktif Güvenlik	Tehlikeli yollar	1. Viraj hız uyarısı, 2. Alçak köprü uyarısı, 3. Anızalı trafik ışıkları ve fren lambaları
	Olağan dışı trafik ve yol durumu	1. Araç tabanlı yol durumu uyarısı, 2. Altyapı tabanlı yol durumu uyarısı, 3. Görüş iyileştirme, 4. Çalışma alanı uyarısı
	Çarpışma tehlikesi	1. Kör nokta uyarısı, 2. Şerit ihlali uyarısı, 3. Tehlikeli kavşak, 4. Ön/arkadan çarpışma uyarısı, 5. Acil fren lambası, 6. Demiryolu çarpışma uyarısı, 7. Yaya geçidi uyarısı
	Kaza öncesi	1. Kaza öncesi algılama
	Kaza sonrası	1. Kaza uyarısı, 2. Anıza uyarısı, 3. Yardım çağrılar
Kamusal Servisler	Acil uyan	1. Yaklaşan acil durum aracı, 2. Acil durum aracı sinyali algılama, 3. Acil durum aracı olay yerinde
	Kamu güvenliğine yardım	1. Elektronik belgeler, 2. Elektronik ehliyet, 3. Araç güvenliği kontrolü, 4. Çalıntı araç takibi
Gelişmiş Sürüş	Gelişmiş sürüş yardımları	1. Otoyol yardımı (giriş-çıkışlar), 2. Sollama yardımı, 3. Sisteme entegre hız sabitleyici, 4. Duruma bağlı far parlaklığı azaltma, 5. Bilgi ekranında uyan işaretlerinin gösterimi, 6. Otomatik vites değişimi
	Akıcı trafik	1. Kaza veya yol durumunu trafik kontrol merkezine bildirme, 2. Akıllı trafik akış kontrolü, 3. Gelişmiş yol rehberi, 4. Harita yükleme/güncelleme, 5. Park alanı gösterici uygulamalar
İş/Eğlence	Araç bakımı	1. Kablosuz kontrol, 2. Yazılım güncelleme, 3. Güvenlik çağrısı, 4. Anlık anıza kontrolü
	Mobil servisler	1. İnternet, 2. Anlık mesajlaşma, 3. İlgilenilen konuların gösterimi
	Kurumsal kolaylıklar	1. Filo yönetimi, 2. Araç kiralama uygulamaları, 3. Bölge giriş kontrolü, 4. Tehlikeli/değerli kargo takibi
	E-ödeme	1. Geçiş ücreti, 2. Park ücreti, 3. Yakıt ücreti

**Tablo 1.** Araçsal Ağ Uygulama Alanları [1]

## 2. Uygulamalar

Araçsal Ağlarda, araçtan-araca uygulamalara ilave olarak araçtan-yol kenarı birimine (Road Side Unit-RSU) olan uygulamalarda yer almaktadır. RSU'ların kullanımı yapılan çalışmaları arttırmış ve uygulanabilir hale getirmiştir. Araçsal ağlardaki uygulama alanları Tablo-1'de gösterilmiştir [1]. Bunlar;

### 2.1. Aktif Güvenlik

Bu kategori yol güvenliği ile ilgili uygulamaları içerir. Amaç, sürüşü daha güvenilir hale getirmektir. Güvenli sürüşün sağlanması ise sürücülerin tehlikeli durumlara karşı önceden uyarılmasıyla mümkün olacaktır. Bu uygulamalar tehlike derecesine göre sınıflandırılabilir. Olağan dışı yol durumları önceden bilinemediğinden önceliği daha yüksek olacaktır. Uygulama çarpışmayı önlemeye yönelikse tehlike yüksektir ve öncelik en üst seviyede olacaktır. Çarpışmayı önlemeye yönelik bu uygulamaların başarısız olması durumunda çarpışma öncesi uygulamalar (camların kapatılması, araç tamponunun yükselmesi, vb.) ile çarpışmanın etkisi azaltılmaya çalışılır. Son olarak ise tehlike artık olaya dönüşmüş ise kaza sonrası uygulamalar ile çevredeki araçlar uyarılır ve gerekli birimlere yardım çağrısı yapılır.

### 2.2. Kamusal Servisler

Bu uygulama kategorisinde amaç kamu birimlerine (polis, itfaiye, ambulans..vb) kolaylık sağlamaktır. Böylece önceliğe haiz kamu araçları hedeflerine daha kısa sürede ulaşabilirler. Bunun yanında elektronik plaka/ehliyet gibi uygulamalar, araç/kişi trafiği ve takibine imkan verirler.

### 2.3. Gelişmiş Sürüş

Bu kategori, sürüşü kolaylaştırmaya yönelik uygulamaları içerir. Bu uygulamalar sürücü asistanı gibi çalışacaktır. Şerit takibi, uzun ışıkları karşıdan araç gelirken otomatik kısılması buna örnek verilebilir. Trafik etkinliğinin sürdürülebilirliği içinde kullanılır. Örneğin, bir kaza veya yol tıkanıklık bilgisini alan sürücü alternatif yolları tercih edecektir.

### 2.4. İş/Eğlence

Bu alandaki uygulamalar müşterilere araçlarla ilgili basit işlemler veya ödeme sistemleri ile ilgili servisler sağlarlar. Ayrıca eğlenceye yönelik (film, müzik..vb.) servisler, basit araç bakımları, paralı yol (köprü, otoyol..vb.) veya park ödemelerinin e-ödeme olarak yapılması bu alandadır.

## 3. Araçsal Ağ İletişim Altyapısı ve Protokolleri

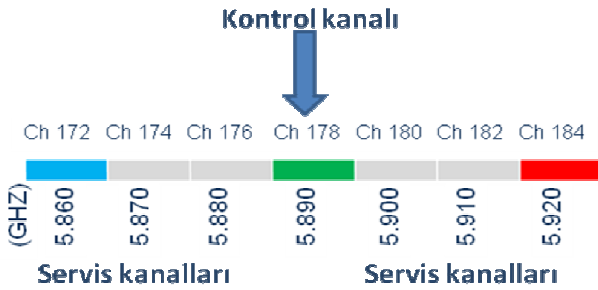
Geniş bir uygulama alanına sahip Araçsal Ağlarda kullanılan iletişim altyapısı ve protokolleri ile iletişim yöntemleri de farklılık göstermektedir. Bu bölümde öncelikle iletişim altyapısı ve protokolleri anlatılacaktır. Daha sonra, ağ karakteristikleri ve buna uygun olarak iletişim yöntemleri anlatılacaktır.

### 3.1. İletişim Altyapısı

Araçsal ağlarda IEEE 802.11a fiziksel ve IEEE 802.11MAC katmanı üzerinde Dedicated Short Range Communications (DSRC) standartları kullanılır. İlk kabul gören standart 915MHz frekans bandında, 0.5Mbps veri hızına sahiptir ve otomatik geçiş sistemleri gibi daha basit

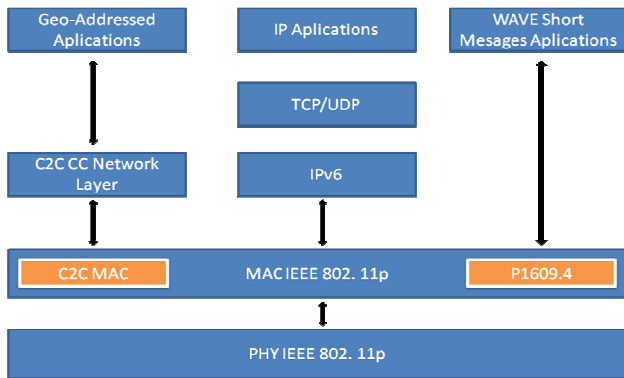
alanlarda kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan standart ise Intelligent Transportation Systems (ITS) America'nın talebiyle 1999 yılında Federal Communication Commission (FCC) [2] tarafından belirlenen 5.9GHz bandında, 75MHzlik band genişliğine sahip, daha yüksek veri transfer hızı (6-27Mbps) sunan standarttır. Böylece araçtan araca (Vehicle to Vehicle – V2V) ve araçtan yol kenarı birimine (Vehicle to Infrastructure – V2I) iletişimde daha düşük gecikme sağlanmaktadır. DSRC, WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) olarak bilinir. Halen ABD, Kanada ve Meksika da DSRC standartları kabul edilmektedir.

DSRC spektrumu 10MHz'lik yedi kanala ayrılmıştır (Şekil-1). Merkezdeki kanal (Ch 178) kontrol kanalı olarak belirlenmiştir. Uçlardaki kanallar (Ch 172-184) ise gelecekteki daha ileri düzeydeki güvenlik uygulamaları için ayrılmıştır. Diğerleri (Ch 174-176-180-182) servis kanalı olarak kullanılır. Kanalların modülasyon ve kod aktarım hızı 6Mbp/s'dir.



Şekil 1. DSRC spektrumu

DSRC kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla farklı ağ ve uygulama katman protokollerini destekler. Protokoller Şekil-2'de gösterilmiştir. TCP/IP protokol yığını ile IP tabanlı yönlendirme yapılabilir. Böylece IP tabanlı uygulamalara ve internet bağlantısına olanak verir. Diğer uygulama ise WAVE Kısa Mesaj Uygulamalarıdır. WAVE kısa mesaj uygulamaları araçtan araca güvenlik mesajı aktarımını sağlar. Bu uygulamada IPv6 kullanılmamasının nedeni, sadece IPv6 başlığının (minimum 40 byte) klasik güvenlik mesajı ile aynı boyutta olmasıdır. Bir diğer protokol ise Avrupadaki Araçsal Ağ uygulamalarını desteklemek için kullanılan C2C-CC (Car to Car Communication Consortium) protokolüdür.



Şekil 2. DSRC protokol yapısı

### 3.2. İletişim Yöntemleri

Araçsal Ağ uygulamalarında, ağ karakteristikleri ve uygulamanın ihtiyaç duyduğu servis kalitesine bağlı olarak iletişim yöntem/protokolleride çeşitlilik göstermektedir. Bu bölümde varolan bir ağ erişim katmanı ve arayüzünün varlığı kabul edilerek, bunun üzerinde uygulanabilecek iletişim yöntemleri incelenecektir. Uygulanacak iletişim yöntemleri, uygulama ihtiyaçlarına göre unicast, geocast, broadcast veri iletişimini gerektiren yöntemler olarak sınıflandırılabilir [1]. Bu yöntemlerden hangisinin uygulanacağını belirleyen esas etken, gerçek-zaman veri iletişimi gibi servis kalitesi ihtiyaçlarıdır.

**İşaret Paketi Yöntemi (Beaconing):** Bu yöntem ile tüm komşulara gönderilen bilginin sürekli bir şekilde güncellenmesi amaçlanmıştır. Veri paketleri menzil içindeki tüm komşulara tek sekme (single-hop) ile yayınlanır, ancak komşular tarafından iletilmez. Paketler sürekli ve periyodik olarak gönderildiğinden, kaza gibi özel durumlara ait bilgilerde gönderilen bu işaret paketlerinin içine gömülür. Her bir araç için bakıldığında iletişim tek yönlüdür: gönderici tarafından, algılayıcılar ile elde edilen bilgi, komşulara alındı cevabı vermesi beklenmeksizin iletilir. Bu yöntem, orta dereceli gecikmeyi tolere edebilen uygulamalarda kullanılır.

**Yöresel Yayın Yöntemi (Geobroadcast):** Bilginin büyük alanlara hızlı bir şekilde dağıtımı için kullanılan yöntemdir. Örnek olarak, yaklaşan araçları, ani olaylar veya anormal yol durum bilgileri konularında uyararak verilebilir. Gönderici tarafından olaya ait bilgi içeren mesajlar oluşturulur. Örneğin, kaza durumunda kazayı yapan araç uyarı mesajını yayınlar. Gönderen, hedef bölgeyi belirler ve bu bilgiyi de veri paketlerine gömer. Paket, tüm komşulara (menzil içindeki) gönderilir. Belirlenen bölge içindeki tüm alıcılar mesajı bozmadan/işlemeden tekrar yayın (broadcast) ederler. Bu yöntem belirlenen alan içinde yapılan bir taşkın (flooding) yöntemidir.

Bu yöntemde, yayın (broadcast) yöntemindeki sürekli veri gönderiminin tersine, sadece bir dış etkene bağlı olarak veri gönderilir. Veri, bu olaya göre periyodik olarak gönderilebilir (örn: yol üzerinde çalışma alanı uyarısı gibi). Bu nedenle iletişim, tetikleyici olaydan hedefe doğru tek yönlüdür. Olaya bağlı olarak düşük gecikme talep edilir. Kaza içermeyen (yol üzerinde çalışma gibi) durumlarda gecikme rahatlatılabilir. Kaza gibi acil durumlarda düşük gecikmenin yanında, en iyi paket iletim yüzdesi sağlanmalıdır.

**Tek-Yöne Yayın Yönlendirmesi (Unicast Routing):** Bilgiyi sadece belirlenen hedefe taşımak için kullanılır. İletişim, alıcı hedef düğümün konumuna göre çok sekmeli (multi-hop) veya tek sekmeli (single-hop) olabilir. Hedef tek bir düğüm olabileceği gibi belirli bir bölge de olabilir. Çok-sekmeli iletişim için yönlendirme tablolarının tutulması gerekir. Bu nedenle iyi bir yönlendirme algoritmasının kullanılması gerekir. Araçsal ağların yüksek dinamik yapısı nedeniyle, mevki-tabanlı (position-based veya location-based) yönlendirme algoritmaları diğer algoritmalarından daha üstün performans

göstermektedir [3]. İletişim ise genellikle tek-yönlü olmasına rağmen, bağlantılı iletişim gerektiren durumlarda çift-yönlü de olabilir. Bu tip bir iletişim, daha çok kullanıcı tabanlı uygulamalar için kullanılacağından, gecikme ve paket düşmelerine duyarlı olmayabilir.

**Gelişmiş Bilgi Dağıtım Yöntemi (Advanced Information Dissemination):** Araçlar arasında belirli bir zamanda bilginin dağılımı amaçlanmıştır. Diğer bir amaç ise, zaman olarak sonradan gelen ve ağ parçalanmasından dolayı daha önceden gönderilmiş olan bilgiyi alamayan araçlara gecikmeli de olsa bilgiyi aktarmaktır. Mesaj keşfedilen olaya ve duruma göre oluşturulur. Oluşturulan/alınan mesajlar depolanır ve belirli zamanlar veya durumlarda iletilir. Belirli bir hedef alıcı değil, tüm ilgili herkesin alması amaçlanmaktadır. Bu nedenle mesaj, içeriğine ve uygulamaya olan alakasına göre yayılır (bu uygulamayı kullanmayan araçlar almaz). Genellikle iletişim tek sekmeli yayın (*broadcast*) şeklindedir. Gecikmeden çok, mesajın belirlenen süre içinde arzu edilen hedef kitle tarafından alınması önemlidir.

**Bilgi Birleştirme (Information Aggregation) Yöntemi:** Bu yöntemde amaç, Gelişmiş Bilgi Dağıtım Yönteminde (*advanced information dissemination*) olduğu gibi bilgiyi araçlara yaymaktır. Ancak, diğer yöntemlerden farklı olarak servis kalitesi değil bilgi daha önemlidir. Bu nedenle, bilgi gönderilmeden önce diğer araçlardan alınan bilgilerle birleştirilerek (*aggregation*) gönderilir. Burada, bilgi-tabanlı (*knowledge-base*) bir birleştirme söz konusudur. Böylece, farklı araçlardan gelen benzer bilgiler bir araya getirilerek gönderildiğinden mesaj trafiği azalır. Mesaj trafiğinin azalması paket düşmesi ve veri bozulmalarını da azaltır. Bu durumda bant genişliği de daha etkin kullanılmış olur. Aynı zamanda bilgi kalitesini artırır. İletişim tek veya çok-sekmeli olabilir. Bilgi kalitesi, bilginin alınması ve ağdaki dağılımı önemli parametrelerdir. Bu nedenle, gecikme-duyarlı uygulama mesajları (acil fren, kaza uyarısı) için kullanılmaz.

#### 4. Araçsal Ağ Karakteristikleri

Araçsal ağların karakteristiği, bilinen ağlara göre farklılık göstermektedir. Araçların yollara bağımlı olmasının getirdiği topolojik yapı ve araçların yüksek süratte hareket edebilmeleri ağ performansını olumlu ve olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, tablo tutma yöntemini kullanan geleneksel yönlendirme algoritmaları yetersiz kalmaktadır. Uygun yönlendirme algoritmalarını geliştirmek ve performansı artırıcı yöntemler uygulayabilmek için araçsal ağ karakteristiklerinin (hız, yoğunluk, araçların hareket şekilleri, ağ elemanlarının özellikleri) iyi anlaşılması gerekmektedir.

##### 4.1. Hız

Araçların hızları 200km/saate kadar çıkabilmektedirler. Yüksek sürat, hem ağ topolojisinin çok hızlı bir şekilde değişmesine neden olmakta, hem de araçlar arasındaki iletişim süresini kısaltmaktadır. Örnek olarak, karşı yönlere 90km/saat ile hareket eden iki aracın 300 metre iletişim menzili için iletişim yapabilecekleri süre maksimum 9sn'dir. Buna araçların birbirlerini

algılaması/tanması dahildir. Veri gönderme kararı üst katmanlar tarafından verildiği için ve veri-bağı katmanı (*data-link layer*) iletişim süresini tahmin edemediği için araçlar arası iletişimde kopmalar yaşanacaktır. Araçların iletişimleri sırasındaki bağlantının süresini artırmak için, çıkış gücünü yani menzili artırmak bir çözümdür. Fakat bu durumda trafiğin yoğun olduğu ortamlarda ağın verimliliği düşecektir. Band genişliğinin etkin kullanımı azaltacak, yarışa-dayalı (*contention-based*) bir MAC protokolü kullanımında da çatışmalar (*collisions*) nedeniyle verim düşecektir. Yönlendirme algoritması için ihtiyaç duyulan ağ topoloji/komşu araç bilgilerini oluşturmak ve devamlılığını sağlamak, yüksek hız nedeniyle imkansız hale gelmektedir. FleetNet [3] ve Network on Wheels (NoW) [4] projelerinde mevki tabanlı (*position-based* veya *location-based*) yönlendirme yaklaşımlarının, topoloji tabanlı yaklaşımlara nazaran daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [1].

Araçların hızlı hareketlerinde olduğu gibi trafikten dolayı yavaş hareketlerinde de benzer problemler yaşanmaktadır. Araç trafiğinin yoğun olması, ilerleme hızını yavaşlatmakta, birim alana düşen araç sayısını arttırmaktadır. Yüksek yoğunluk nedeniyle yüksek girişim olacak, sonucunda da tıkanıklık ve paket düşmeleri meydana gelecektir. Bu nedenle araç hızını dikkate alan çok daha ölçeklenebilir iletişim çözümlerine ihtiyaç vardır.

##### 4.2. Hareket Şekilleri

Araçların anlık hareketleri önceden belirlenemez. Ancak önceden belirlenmiş yollar üzerinde hareket ettiklerinden hareketleride sınırlıdır ve belirli bir modele (*pattern*) uygunluk gösterir. Araçların hareketlerini belirleyen yolları 3 sınıfa ayırabiliriz.

- Şehir içi: Genellikle yoğunluk fazladır. İlerleme yönü değişimini sağlayacak bir çok kavşak vardır. Yolların kenarındaki binalar nedeniyle iletişim sınırlıdır. Hız, diğer hareket modellerine göre daha düşüktür.
- Kırsal yollar: Yoğunluk azdır ve daha az kavşak vardır. Bu seyreklik nedeniyle tam bağlı bir ağ kurulamaz. Yön değişimi şehirlere göre daha azdır. Hız daha yüksektir.
- Otoyollar: Şerit değişimi yoktur. Yoğunluk ise şehirlere göre azdır. Araçların hızları en yüksek bu modelde görülür.

Yukarıda belirtilen farklı yol türleri ve hareket modelleri farklı yönlendirme problemlerini doğurur.

##### 4.3. Yoğunluk

Araçsal Ağlar, ağ elemanları arasındaki bağlantı durumunun (bağlanma/kopma) çok hızlı değişmesi ve bundan kaynaklanan tepkime davranışları bakımından da tasarsız (*ad hoc*) ağlardan farklılık gösterir. Araçsal ağlarda, ağ yoğunluğunun fazla oluşu *broadcast storm*

problemini ortaya çıkarırken, seyreklik de ağ bağlılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Düşük yoğunlukta acil mesajların geçek-zamanda alıcıya ulaştırılması imkansızdır. Bu durumda mesaj gecikme toleranslı (delay-tolerant) olarak bekletilip, bağlantı oluşturulması sonrasında iletilebilir. Az yoğunluktan dolayı aynı mesajın aynı araç tarafından birçok kez yayınlanması gerekebilir. Fakat çok yoğun ortamda sadece seçilmiş (belirli) araçlar tarafından yayınlanmalıdır. Aksi takdirde iletişim kanalına erişimde yüklenme olacak ve ortama erişim problemleri doğacaktır.

Yoğunluk sadece bölgeye göre değil zamana göre de değişir. Gün içerisinde şehir içi ve otoyollarda trafik daha yoğunken (acil mesaj iletimi için uygun yoğunlukta), geceleri bu yollarda daha az araç olacak ve yönlendirmedeki problem zorlaşacaktır.

#### 4.4. Heterojen Elemanlar

Temelde farklı donanım ve yazılıma sahip ağ elemanları, araçlar ve yol kenarı birimleri olarak ayrılabilir. Ancak araçlarda kendi içerisinde özel araçlar, kamu araçları, bakım araçları gibi farklılık gösterir. Bu farklılık neticesinde araçlara yüklenecek uygulamalarda farklı olacaktır. Örneğin: sadece kamu araçları, gelişile ilgili uyarı mesajı gönderecektir. Bu durum yol kenarı birimleri içinde geçerlidir. Bazıları sadece aldığı mesajı iletirken, bazıları bilgiyi toplayarak trafik kontrol istasyonlarına gönderebilirler. Ayrıca yol kenarı birimleri mesajı sürücü için işlemek zorunda değildir. Kişi ya da kuruluşa ait olmadıklarından koruma ve güvenlik sıkıntısında yoktur.

#### 5. Heterojen Araçsal Ağlar

##### 5.1. Yol Kenarı Birimleri (Road Side Unit-RSU)

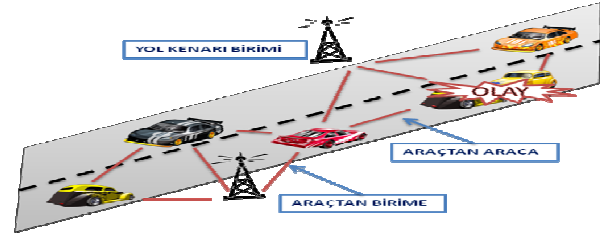
Araçsal Ağ teknolojilerinde 2000'den sonra yaşanan gelişmeler neticesinde, araçlar kendi aralarında haberleşebildikleri gibi yol kenarı birimleri (RSU) ile de haberleşebilmektedir. Bu durum, çalışmalarda, bu ağ elemanlarını da içeren çözümlerin önerilmesine olanak sağlamıştır. Yol kenarı birimlerinin, gerek şehir içi, gerekse otoyollarda kritik noktalara yerleştirilmesi, araçsal ağ uygulamalarında bir çok avantajı beraberinde getirmiştir.

DSRC yapısı gereği yoldaki tüm araçlar rutin trafik bilgisini (mevki, sürat, zaman, yön, trafik durumu..vb) yayın yöntemi (broadcast) ile göndermektedir. Bu rutin bilginin sık aralıklarla gönderilip alınması trafik güvenliğini önemli ölçüde etkileyecektir. Oluşabilecek bir kaza durumunda gönderilen acil durum mesajı yol kenarı birimleri üzerinden gerekli yerlere (polis, itfaiye, hastane) anında (gerçek-zamanda) iletılarak reaksiyon süresi minimuma indirilebilecektir.

Bunun yanında araca ait özel bilgilerin (araç sahibi, ruhsat bilgisi..vb) yol kenarı birimlerine iletilmesi ile bir şuçlu, aranan araç takibi veya bir kazanın incelenmesi çok daha kolaylaşacak ve daha etkin hale gelecektir.

Bu birimler yönlendirme algoritmalarında da performansı çok önemli düzeyde arttırmıştır. RBVT (Road-Based using Vehicular Traffic Information) yönlendirme algoritmaları [5], kavşaklara yerleştirilen birimlerin gerçek zamanlı trafik bilgisini tutmasıyla yönlendirme işlemini gerçek zamanlı trafik bilgisine göre yaptığından bu birimler arası coğrafi yönlendirmeyi sorunsuz yapabilmektedir. Bunun neticesinde performans %40 oranında artmıştır [5].

Yol kenarı birimleri, az yoğunluklu/parçalı (partially connected) ağlarda performansı arttırmak içinde kullanılmaktadır. Böylece menzil içerisinde olmayan bir araca yol kenarı birimleri sayesinde bilgi iletilebilir. Bu durumda ağın bağlılığı da (network connectivity) artmış olacaktır. Araçlar ve yol kenarı birimlerinden oluşan heterojen bir yapıyla, ağ performansını arttırmak kesin ve güvenilir bir çözüm değildir. Yol kenarı birimlerine bağımlı bir ağda, yol kenarı birimlerinde oluşabilecek arızalar, elektrik kesintisi, deprem gibi doğal afetler ağ bağlılığını olumsuz yönde etkileyecek ve performans düşecektir.



Şekil 3. Yol kenarı birimi kullanan VANET örneği

##### 5.2. GSM Altyapılı Ağlar

Tasarsız araçsal ağların bağlılık sorununu çözmek için Hücreli (cellular) ağ altyapısını kullanan araçsal ağlar düşünülebilir. Bu yaklaşımda tüm araç bilgisi baz istasyonlarında toplanacak ve derlenen tüm bilgi kapsama alanındaki araçlara gönderilecektir. Baz istasyonları ile sağlanan bu hücreli yapı bağlılık için yeterli bir çözüm gibi görülmekle birlikte, yol kenarı birimi kullanan heterojen altyapının tüm olumsuzluklarını da ihtiva etmektedir.

Bunun yanında günümüzde hızlı hareket eden cihazlar için 3G teknolojisi ile sağlanan maksimum veri hızı 128Kbps'dir. Ayrıca ağın yoğunluğuna göre (telefon/ses trafiği) bu değer daha da düşecektir. Bu veri hızı ses/görüntü dosyalarına erişim için yeterli ve yararlı olmakla birlikte, temel araçsal ağ uygulamaları için yeterli olmayacaktır. Bu durum yoğun trafiğin bulunduğu durumlarda tıkanıklığa neden olacak ve ağ bağlılığı ile artırılan performans kaybedilecektir.

GSM altyapılı ağların diğer bir dezavantajı ise maliyettir. Tasarsız Araçsal Ağlarda cihaz olan tüm araçlar ilave maliyet olmadan haberleşebilirken, GSM altyapılı Araçsal Ağlar için servis sağlayıcısından dolayı ilave maliyet doğacaktır. Ayrıca halihazırdaki baz istasyonları bu altyapıyı desteklemediğinden servis sağlayıcısının da bu

yönde teşvik edilmesi (bu teşvik ticari talep ile mümkündür) gerekecektir.

Bu kapsamda ağ performansını arttırmaya yönelik çözüm kesinlikle bu ağın temel elemanları olan araçlardan oluşan homojen bir yapıda olmalıdır. Bu durumda trafiğe çıkan her araç sensörü çalıştığı müddetçe haberleşmeye hazırdır ve ağ performansı dış etkenlerden etkilenmez.

## 6. Güvenlik ve Kişisel Gizlilik

Gizlilik ve veri güvenliği tüm ağlarda olduğu gibi araçsal ağlarda da ele alınması gereken önemli bir konudur. Özellikle kişisel bilgilerin gizliliği (privacy) açısından kamu desteği alması şarttır. Örneğin, bir sürücünün hareketlerini kişi veya araç bilgilerine bakarak takip etmek mümkün olduğunda, halkın Araçsal Ağ'ı desteklemesi mümkün olmayabilir. Eğer kimlik ve kişisel bilgilerin gizliliği sağlanamazsa üçüncü kişilerin sürücünün günlük aktivitelerini takip etmesi mümkün olur. Bu nedenle, sürücünün gizliliğini / mahremiyetini garanti etmek için mekanizmalar gerekir. Her aracın bir MAC adresi olması durumunda, bu aracı ve dolayısıyla sürücüsünü izlemek mümkün olacaktır. IEEE 802.11p standardı ile dinamik olarak MAC adresi ataması mümkündür. Bu yöntem, araçların amacı dışında/yetkisiz kişiler tarafından izlenmesini engelleyici bir yaklaşımdır.

Diğer bir konuda, mesajın iletildiği süre boyunca doğruluğunun ve bütünlüğünün (data integrity) sağlanmasıdır. Mesajların içeriğini değiştirmek mümkün olmamalıdır. Aksi bir durum, kazalara neden olabilir ve Araçsal Ağların amacını boşa çıkarır. Gönderilen verilerin zararlı kişiler tarafından amacı dışında değiştirilmesi, trafik akışının değişmesine ve ulaşım sisteminde kaosa neden olabilir. Güvenlik için bir çözüm olan sertifikasyon yönteminin kullanımı, Araçsal Ağların hareketli yapısı ve ağ bağlılığındaki değişimler nedeniyle zorlaşmaktadır. Bu nedenle, gizliliğin ve veri bütünlüğünün sağlanması için uygun çözüm ihtiyaçları vardır.

## 7. Analitik Yaklaşım

Araçsal ağlarda çok yoğun ortamlarda *broadcast storm* problemi olduğu gibi seyreklikten kaynaklanan durumlarda bağlantı kopuklukları da olmaktadır. Bu tür durumlar için uygulanan yönlendirme algoritmasının performansı çok önemlidir. Bu algoritmadan istenen, bir veri paketini bağlı olmayan bir araca gönderme süresini (re-healing time) en aza indirmesidir. Bu tür durumlar için, klasik tasarsız ağ algoritmaları (DSR,AODV..vb) yeterli olmamaktadır.

Çözüm yöntemi olarak, kısmi-bağlı (partially-connected) ağların özellikleri analitik olarak incelenip daha uygun yönlendirme algoritmaları geliştirilebilir. Bu kapsamda yapılan analitik tabanlı çalışmalara örnek olarak *araç takip modeli* [6] ve *markov zincir modeli* [7] verilebilir. Bu çalışmalarda [6, 7], tam bağlı olmayan (kısmi-bağlı) ağları anlamak için birbirlerini takip eden araçlar arasında bağlantı olmama olasılığı, bağlı araçların oluşturduğu öbeklerin (cluster) sayısı, öbeklerdeki araç sayısı, öbeklerin boyutu, öbekler ve araçlar arası mesafe, önerilen

araç takip modeli analitik olarak incelenmiş ve sonuçların uygulanan monte-carlo simülasyonu ile birebir örtüştüğü görülmüştür. Bu tür analitik incelemeler, araçsal ağlarda bağlı olmayan ağ durumunu daha iyi anlamayı ve daha doğru çözümler bulmayı kolaylaştırır.

## 8. Yönlendirme Algoritmaları

Araçsal Ağ karakteristikleri göz önüne alınarak yapılan analizler neticesinde mobile ad hoc networks (MANET)s yönlendirme algoritmalarının (AODV [8], DSR [9], vb) Araçsal Ağlar için yeterli ve etkili olmadığı görülmüştür [10][11].

Ayrıca geleneksel (sabit altyapılı) yaklaşımlarda hedef ve kaynak arasındaki iletişim sabit düğümler (ağ elemanları) üzerinden yapılır ve algoritmalar buna göre geliştirilmiştir. VANET'in yüksek yer değişimli yapısı nedeniyle bu algoritmalar ağ içerisinde kopmalara neden olacaktır. Bunun neticesinde yüksek ve çok sık paket düşümleri meydana gelecek, gecikme (delay) artacak ve paket alım oranı düşecektir.

Bu problem coğrafik yönlendirme algoritmalarıyla (GFG [12], GOAFR [13], GPSR [14]) çözülebilir. Bu algoritmalarda yönlendirme düğüm kimliğine göre değil hedef ve kaynağın mevkisine göre yapılır. Fakat bu yaklaşımda da şehir ortamında bina blokları, çıkmaz sokaklar gibi engeller nedeniyle ağ elemanının hedefe kendinden daha yakın düğüm bulamaması durumuyla karşılaşılabilir. Bu durumda yönlendirme algoritmasının içinde yol bilgisinin olması gerekmektedir [15][16]. Bu algoritmaların zaafi ise en kısa yol tabanlı olmaları ve her zaman uygun ağ yoğunluğuna ihtiyaç duymalarıdır.

Hali hazırda en etkin gözüken algoritma gerçek zamanlı yol bilgisinde ihtiva eden RBVT-P, RBVT-R (Road-Based Using Vehicular Traffic Information Routing-proactive/reactive) algoritmalarıdır [3]. Bu algoritma, ihtiyaç halinde (reactive) veya daha önceden (proactive) gönderdiği bir keşif paketiyle gerçek zamanlı yol bilgisini öğrenir. Ve artık bilinen düğümler üzerinden coğrafi yönlendirme yapılır. Fakat bu algortimada uygun ağ yoğunluğuna ihtiyaç duymaktadır ve seyrek yoğunlukta performansı önemli ölçüde düşecektir.

## 9. Sakla-Taşı-Gönder (Store-Carry-Forward) Mekanizması Ve Gecikme Toleranslı Ağlar

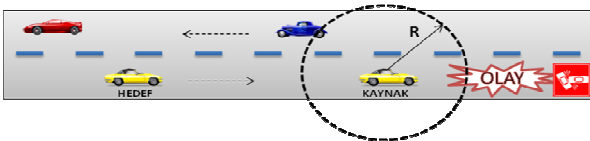
Araç yoğunluğunun az olduğu araçsal ağlarda ağ bağlılığı azaldığından öbekler oluşur. Öbekleri oluşturan araçların farklı yön ve hızlardaki hareketleri, öbek elemanlarının değişmesine, sürekli olarak öbeklerin birleşip yeniden parçalanmasına neden olmaktadır. Parçalanma ve birleşme hızının yüksek olduğu bu tür durumlarda veri aktarımı için Sakla-Taşı-Gönder (*store carry forward - SCF*) yöntemi kullanılabilir. Bu mekanizmada araç sahip olduğu paketi göndereceği bir alıcı araç olmadığına saklar (store), iletmek için bir yol bulana kadar taşır (carry) ve uygun yolu bulduğunda paketi iletir (forward). Bu yöntem, kısmi-bağlı (partially-connected) ağlarda ayrılmış öbekleri zaman içinde birleştiren ve ağ bağlılığını sağlayan bir mekanizma olarak da kullanılabilir.

Bu mekanizmanın etkinliği açısından bir bilgi paketinin bağlı olmayan düğümlere ortalama iletilme zamanı (re-healing time) çok önemlidir. Bu süre paketin iletilmeden önce ne kadar süre taşınması (carry) gerektiğini doğrudan etkileyecektir. Bunun sonucu olarak uygun tampon bellek büyüklüğü ve zaman aşımı süreleri belirlenmelidir. Bu sürelerin doğru olarak belirlenmesi ağın performansını doğrudan etkileyecektir.

Bu mekanizmanın aynı zamanda gecikme toleranslı uygulamalar için bir çözüm olduğu gözardı edilmemelidir. Araçların hızlı değişen topolojisi nedeniyle, ağ içerisinde her an için tam bağlılık sağlanamayacaktır. Bu durumda kaynak ile hedef düğümler arasında uygun iletişim yolu bulunamayabilir. Gecikme-toleranslı ağlarda (Delay-Tolerant Network) anında bağlılık sağlanması için yoğun çaba sarfetmek yerine, SCF doğasına uygun olarak bilginin uygun düğümü bulana kadar tutulması ve gecikmeli olarak bilgiyi iletilmesiyle bağlılık sağlanır.

Gecikme toleranslı ağlarda en temel yönlendirme şekli mesajı tüm gruba yayarak hedefe ulaşmasını beklemektir. Bu şekilde çalışan Epidemik yönlendirme algoritması [17] mesajın bir hastalık gibi düğümden düğüme yayılmasını bekler. Fakat mesajın gereksiz bir çok kopyası oluşacak ve düğümlerin saklama kapasitesi azalacaktır. Bu durumda, bu yayılımı sınırlayacak ve çözüme yönelik algoritmalar geliştirilmiştir (Spray& Wait, MoVe)[18][19]. Böylece ağ içerisindeki kopya sayısı sınırlandırılmıştır. Tüm bu algoritmaların amacı parçalı ağlarda bağlılığı gecikmelide olsa sağlamaktır.

İlk bakışta farklı öbeklerdeki araçların iletişimi neredeyse imkansız olarak görülür. Fakat araçsal ağ mimarisinin yollar üzerine kurulu olması ve bir mesajın ters yönden gelen araç tarafından makul gecikme ile aktarılması bağlantıyı sağlayacaktır. Bağlı olmayan ağ senaryosu şekil 4'de gösterilmiştir. Bu senaryoda kaynak kaza paketini gönderim mesafesi içinde olmayan hedefe göndermek için karşı şeritte bulunan mavi aracı kullanacaktır.



Şekil 4. Bağlı olmayan ağ senaryosu

## 10. Devam Eden Çalışmalar

Araç yoğunluğuna ve araç hızlarına bağlı olarak ağ bağlılığında kopmaların olduğu Araçsal Ağlarda veri gönderimi için uygulanacak en iyi yöntemin Sakla-Taşı-Gönder (*store-carry-forward* - SCF) mekanizması olduğu görülmüştür. Mevcut yönlendirme algoritmalarından Sakla-Taşı-Gönder yöntemini kullanan yaklaşımlarda [20][21] bu işlemi nasıl ve ne şekilde yapılacağı hakkında bilgi verilmemiştir.

Yapılan çalışmalarda, ağı yoğun ve seyrek oluşuna, kısmi veya tam bağlı (partially or full connected) oluşuna göre veri gönderim zamanlarının, verinin hangi durumlarda nasıl gönderileceğinin (unicast, geocast,

periodik, vb.), yeniden gönderim (retransmission) usullerinin, verinin yaşamömrü belirlenmesi konularında yeterli bilgi ve çalışmanın olmadığı görülmüştür. Yapmakta olduğumuz çalışmalarda, bu konulara çözüm yaklaşımları getirilmektedir. Sistem performansını ölçmek için senaryolar oluşturularak, Sakla-Taşı-Gönder (*store-carry-forward* - SCF) mekanizması kullanan yoğun ve az yoğun ağlarda performans ölçümleri yapılmaktadır.

## 11. Sonuç

Bu bildiriye, Araçsal Ağların incelenmesi yapılarak, problem alanları ve önerilen yöntemler irdelenmiştir. Araçsal Ağların kendine özgü özelliklerinden dolayı varolan yöntemlerin yetersiz olduğu görülmüştür. Ağ yoğunluğuna ve araçların hızına bağlı olarak sık oluşan topoloji değişimleri ve ağ parçalanmaları, araçsal ağlar için yeni yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Ağ parçalanmalarında veri iletiminin sağlanması Sakla-Taşı-Gönder yöntemi ile yapılabilir. Bu yönde yapılan literatürdeki çalışmalar, performans iyileştirilmesi ve değerlendirilmesine yönelik yeterli açıklayıcı bilgiyi sunmamaktadır. Bu konular, geliştirilmeye açık araştırma ve uygulama konulardır. Yapmakta olduğumuz çalışmalarda, literatürde adreslenmeyen konulara çözüm yaklaşımları önerilmektedir.

## Kaynakça

- [1] M. Zhang, R.S. Wolff, "Communications Patterns in VANETs," IEEE Communications, Vol. 46, No. 11, November 2008.
- [2] Federal Communications Commission. Amendment of the commission's rules regarding dedicated short-range communication service in the 5.850-5.925 ghz band, fcc 02-302. Tech. rep., FCC, November 2002.
- [3] W.Franz, H. Hartenstein, M. Mauve, "Inter-Vehicle Communications Based on Ad Hoc Networking Principles," The FleetNet Project, Karlsruhe,Germany: Universtatverlag Karlsruhe, November 2005.
- [4] A. Festag et. Al, "NoW-Network on Wheels: Project Objectives Technology and Achievements," Proc. 6th Int. Wksp. Intelligent Transportations (WIT), Hamburg, Germany, March 2008.
- [5] J. Nzouonta, N.Rajgure, G.Wang and C.Borcea, "VANET Routing on City Roads using Real-Time Vehicular Traffic Information," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58, No. 7, 2009.
- [6] N.Wisitpongphan, F.Bai, P.Mudalige, V.Sadekar, and O.Tonguz "Routing in Sparse Vehicular Ad Hoc Wireless Networks" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 25, No. 8, October 2007.
- [7] R.Shirani, F.Hendessi " A Markov Chain Model for Evaluating Performance of Store-Carry-Forward Procedure in VANETs" IEEE- ICCS 2008.
- [8] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad hoc on-demand distance vector routing," in Proc. 2nd Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. New Orleans, LA, USA: IEEE, February 1999, pp. 90-100.

- [9] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," *Mobile Computing*, vol. 353, no. 5, pp. 153–161, 1996.
- [10] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, H. Fußler, D. Hermann, and M. Mauve, "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments," in *Proceedings IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Columbus, OH, USA, June 2003, pp. 156–161.
- [11] V. Naumov and T. Gross, "Connectivity-aware routing (car) in vehicular ad hoc networks," in *Proceedings IEEE International Conference on Computer Communications*, Anchorage, AK, USA, May 2007, pp. 1919–1927.
- [12] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia, "Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 7, no. 6, pp. 609–616, November 2001.
- [13] F. Kuhn, R. Wattenhofer, Y. Zhang, and A. Zollinger, "Geometric ad-hoc routing: Of theory and practice," in *Proceedings of the twenty-second annual symposium on Principles of distributed computing*, Boston, MA, USA, July 2003, pp. 63–72.
- [14] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, Boston, MA, USA, August 2000, pp. 243–254.
- [15] T. Li, S. K. Hazra, and W. Seah, "A position-based routing protocol for metropolitan bus networks," in *Proceedings IEEE 61st Vehicular Technology Conference VTC-Spring*, Stockholm, Sweden, June 2005, pp. 2315–2319.
- [16] J. Tian, L. Han, K. Rothermel, and C. Cseh, "Spatially aware packet routing for mobile ad hoc inter-vehicle radio networks," in *Proceedings IEEE Intelligent Transportation Systems*, Shanghai, China, October 2003, pp. 1546–1551.
- [17] A. Vahdat, D. Becker, "Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks," *Technical Report CS-200006*, Duke University, April 2000.
- [18] Spyropoulos, T., Psounis, K., Raghavendra, C.S., "Spray and Wait: Efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks," *ACM SIGCOMM workshop on Delay Tolerant Networking (WDTN)*, 2005.
- [19] LeBrun, J., Chuah, C.-N., Ghosal, D., "Knowledge Based Opportunistic Forwarding in Vehicular Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE VTC Spring*, 2005.
- [20] L. Briesemeister and G. Hommel, "Role-Based Multicast in Highly Mobile but Sparsely Connected Ad Hoc Networks," *Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, 2000.
- [21] Z. Chen, H. Kung, and D. Vlah, "Ad Hoc Relay Wireless Networks over Moving Vehicles on Highways," *Poster, ACM Mobihoc*, 2001.