

Araç-Araç Haberleşmesi için Veri Link Tasarımı

Özge Özdemir

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2017

Data Link System Design for Vehicle to Vehicle Communications

Özge Özdemir

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical and Electronics Engineering

July 2017

Araç-Araç Haberleşmesi için Veri Link Tasarımı

Özge Özdemir

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Telekomünikasyon - Sinyal İşleme Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Kemal Özkan

Temmuz 2017

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi – Savronik Elektronik A.Ş. ortaklığı ile gerçekleştirilen “Araçlar Algılama ve Uyarı Sistemi” başlıklı 0508.STZ.2013-2 numaralı SANTEZ Projesi kapsamında desteklenmiştir.

ONAY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Özge Özdemir'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Araç-Araç Haberleşmesi için Veri Link Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Kemal Özkan

İkinci Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Arslan

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Kemal Özkan

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol Seke

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muammer Akçay

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Kemal Özkan ve Prof. Dr. Hüseyin Arslan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Araç-Araç Haberleşmesi için Veri Link Tasarımı” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 28/07/2017

Özge Özdemir

İmza

ÖZET

Artan trafik yoğunluğu dikkate alındığında olası kazalardan kaçınma ve güvenli sürüş kabiliyetinin artırılmasına yönelik olarak geliştirilen Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ve Araç-Araç Haberleşme (V2V) teknolojisi her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda yapılan standardizasyon çalışmaları, gerçekleştirme ve uygulamalar incelendiğinde yüksek hızlı platformlarda çalışan Araç-Araç Haberleşme Modüllerinde Çifterli Ayırgan Kanal (DDC) etkilerinin gözlemlenmesi kaçınılmazdır.

Bu tez çalışmasında V2V haberleşmesinde kullanılan mevcut standartlar incelenmiş, rafta hazır ticari modüller kullanılarak Araç-araç Haberleşme Sistemi geliştirilerek test edilmiş, Alan Programlanabilir Kapı Dizisi, (FPGA) platformuna uyumlu Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) tabanlı dalga formu Yazılım Tabanlı Radyo (SDR) mimarisine uygun olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen dalga formu üzerine DDC etkileri eklenerek Simulink üzerinde test edilmiş; DDC etkilerinin giderilmesine yönelik iyileştirme çalışmaları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemleri, Araç-Araç Haberleşmesi, Çifterli Ayırgan Kanal, Alan Programlanabilir Kapı Dizisi, Dik Frekans Bölmeli Çoğullama, Yazılım Tabanlı Radyo.

SUMMARY

Considering to increasing traffic jam, Intelligent Transportation Systems (ITS) and Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communications technology, which are developed for potential collision avoidance and reliable driving assistance capability, gain importance every day. For this concept, if we analyze standardization studies, implementations and applications, observing Doubly Dispersive Channel (DDC) Effects are inevitable for vehicle-to-vehicle communication modules that are placed on high speed platform.

In this thesis, existing standards for V2V communications are examined, V2V communication system that uses commercial of the shelf module is developed and tested, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) based waveform is generated according to Software Defined Radio (SDR) architecture for Field Programmable Gate Area (FPGA) platform. DDC effects are implemented on the generated waveform and tested on Simulink. System improvement studies are examined to eliminate these DDC effects.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Vehicle-to-Vehicle Communications, Doubly Dispersive Channel, Field Programmable Gate Area, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Software Defined Radio.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca derslerimde ve tez çalışmamda, bana danışmanlık eden, beni yönlendiren ve emeğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Kemal ÖZKAN' a, tez çalışmam boyunca yapmış olduğu yönlendirmeler ve değerli katkıları için İstanbul Medipol Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Hüseyin ARSLAN' a ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi – Savronik Elektronik A.Ş. ortaklığı ile hazırlanan “Araçlar Algılama ve Uyarı Sistemi” başlıklı 0508.STZ.2013-2 numaralı SANTEZ Projesi süresince planlama, araştırma ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkanı Doç. Dr. Ahmet YAZICI' ya bilgi ve tecrübelerini paylaştıkları için en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve çalışma arkadaşlarıma minnet duygularımı sunarım.

Özge ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Araç-Araç (V2V) Haberleşmesi.....	4
2.2. DSRC	4
2.3. Standartlar	7
2.3.1. Ağ alt yapısı	8
2.3.2. SAE J2735	9
2.3.3. IEEE 1609.X	11
<u>2.3.3.1. IEEE 1609 ailesi ve standartları</u>	11
2.3.4. IEEE 802.11p.....	13
2.4. Temel Bant İşlemler.....	16
2.4.1. OFDM yapısı	16
2.4.2. Frekans ve bant genişliğinin belirlenmesi.....	20
2.4.3. Kanal etkilerinin analiz edilmesi.....	21
<u>2.4.3.1. Çifterli ayırgan kanal etkileri</u>	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Proje Çalışmaları ve V2V Sistemi	25
3.1.1. Kontrol ünitesi ve verilerin işlenmesi	26
3.1.2. RF alıcı-verici birimlerinin incelenmesi	26
3.1.3. Kapsama analizleri ve anten seçimi	29
3.2. Sistem Geliştirme ve Uygulama.....	31
3.2.1. Verici hattı	32
<u>3.2.1.1. Rassal veri üretici</u>	33
<u>3.2.1.2. Seri paralel dönüştürücü</u>	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.3. 16 QAM kiplenim	34
3.2.1.4. Ters Fourier dönüşümü	35
3.2.1.5. Sayısal-analog dönüştürücü	36
3.2.2. Alıcı hattı	36
3.2.2.1. Analog-sayısal dönüştürücü	37
3.2.2.2. Fourier Dönüşümü	37
3.2.2.3. 16 QAM kip çözücü	38
3.2.2.4. Paralel seri dönüştürücü	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR DİZİNİ	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Amerika'da DSRC spektrum bandı ve kanalları.....	5
2.2. OSI modelinde katmanlar	8
2.3. IEEE ve SAE standartları	9
2.4. IEEE 1609 WAVE mimarisi	12
2.5. Araçlar arası haberleşmede standartların katmanlara göre kullanımı	13
2.6. Dik sinyallerin (a) kullanımı ve (b) spektrum verimliliği	16
2.7. Çevrimsel uzantının eklenmesi.....	18
2.8. OFDM alt taşıyıcılarının gösterim.....	18
2.9. OFDM mimarisi temel blok diyagramı	19
3.1. V2V modülü genel blok diyagramı	26
3.2. Laboratuvar test kurulumu.....	28
3.3. IEEE 802.11 dalga formu	28
3.4. Test araçları	29
3.5. Test ortamı.....	30
3.6. 400 m mesafe her iki aracın da durağan konumda olduğu paket testi sonuçları	30
3.7. 0-500 m ortalama 60 km/s hızla hareketli platform paket testi sonuçları	31
3.8. OFDM tabanlı dalga formu	32
3.9. Verici hattı blok diyagramı.....	33
3.10. LSFR blok diyagramı	33
3.11. Seri paralel dönüştürücü blok diyagramı.....	34
3.12. 16 QAM kiplenim.....	34
3.13. 16 QAM takımyıldız diyagramı	35
3.14. Ters Fourier dönüşüm bloğu.....	35
3.15. Sayısal-analog dönüştürücü bloğu.....	36
3.16. Alıcı hattı blok diyagramı.....	37
3.17. Analog-sayısal dönüştürücü bloğu	37
3.18. Fourier dönüşüm bloğu.....	38
3.19. QAM kip çözücü	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.20. 16 QAM kip çözücü takımyıldız diyagramı	39
3.21. Paralel seri dönüştürücü blok diyagramı	39
4.1. 39 dB SNR seviyesinde AWGN kanal etkisi	40
4.2. 30 dB SNR seviyesinde AWGN kanal etkisi	40
4.3. DD kanal etkisi	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bölgelere göre DSRC standartları karşılaştırılması.....	6
2.2. DSRC standartları ve güncel durumları.....	7
2.3. Araçlar arası haberleşmede standartları ve kullanım alanları.....	13
2.4. 802.11 standardının bazı özellikleri.....	14
2.5. 802.11 standardının avataj ve dezavantajları.....	14
2.6. 802.11 a-p standartlarının karşılaştırılması	15
2.7. AHB için kullanılabilir frekans bantları	21
3.1. LSFR bloğu arayüzü	33
3.2. IFFT bloğu arayüzü	36
3.3. FFT bloğu arayüzü.....	38
4.1 AWGN kanalda SNR seviyesine göre veri kaybı oranları	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

dB	decibel
dB _i	decibel isotropic
dB _m	decibel miliwatt
GHz	Gigahertz
Kbps	Kilo bits per second
Km/s	Kilometer per second
m	metre
Mbps	Mega bits per second
MHz	Megahertz
μs	micro saniye
ms	milisaniye
W	Watt
	veya

Kısaltmalar

Açıklama

AAS	Araç Algılama Sistemi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADC	Analog Digital Converter
AHB	Araç Haberleşme Birimi
AIS	Automatic Identification System
AKMİ	Adanmış Kısa Mesafe İletişim
AP	Access Point
ARIB	Association of Radio Industries and Bussinesses
ASK	Amplitude Shift Keying
ASTM	American Society for Testing and Materias
AUS	Akıllı Ulaşım Sistemleri
AWGN	Additive White Gaussian Noise

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAN	Controller Area Network
CEN	European Committee for Standardization
CP	Cyclic Prefix
CP-OFDM	Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
DAC	Digital to Analog Converter
DD	Doubly Dispersive
DDC	Doubly Dispersive Channel
DFT	Discrete Fourier Transform
DSRC	Dedicated Short Range Communication
FCC	Federal Communication Commission
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FPGA	Field Programmable Gate Array
GI	Guard Interval
GPS	Global Positioning System
ICI	Intercarrier Interference
ID	Identification
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IPv6	Internet Protocol Version 6
ISI	Intersymbol Interference

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar

Açıklama

ISM	Industry, Science, Medicine
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation Systems
KET	Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazları
LLC	Logical Link Control
LOS	Line of Sight
LSB	Least Significant Bit
LSFR	Linear Feedback Shift Register
LSQR	Sparse Equations and Least Squares
MAC	Media Access Control
MIB	Management Information Base
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMSE	Minimum Mean-Square Error Estimation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NF	Noise Figure
OED	Ortam Erişim Denetimi
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OQAM	Offset Quadrature Amplitude Modulation
OSI	Open System Interconnection
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
PC	Personal Computer
PHY	Physical Layer
PSK	Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RTT	Round Trip Timing
SAE	Society of Automotive Engineers
SBT	Sınai, Bilimsel ve Tıbbi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar****Açıklama**

SINR	Signal to Interference Plus Noise Ratio
SISO	Single Input Single Output
SNR	Signal to Noise Ratio
Std	Standard
STDMA	Self Organizing Time Division Multiple Access
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
US	United States
VANET	Vehicular Ad Hoc Networks
VAS	Vehicle Alert System
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WSMP	Wave Short Message Protocol
WSSUS	Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ülkemizde yıldan yıla artan nüfus ve taşıt sayısına paralel olarak güvenli ve akıcı ulaşım ihtiyacı da günden güne artmaktadır. Trafikteki bu kapasite artışı geliştirilen sensörler, GPS, akıllı kontrolcüler ve mobil haberleşme teknolojileri ile birlikte değerlendirildiğinde Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) adı altında yeni çözüm yaklaşımlarını da beraberinde getirmektedir.

Taşıt trafiğinin düzenlenmesi ve çarpışma önleyici sistemler ile ilgili ilk çalışmalar TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System)'ın geliştirilmesi ile havacılık sektöründe yaşanmıştır. Bunu denizcilik sektöründe AIS (Automatic Identification System) takip etmiştir. Strang'ın çalışmalarına göre araçlar arası haberleşme sistemlerinin kullanımının çarpışma olasılıklarını önemli ölçüde düşürdüğü gözlemlenmiştir (Strang, T., 2006). Denizcilik ve havacılık sektörlerindeki gelişmelere benzer olarak otomotiv sektöründe DSRC (Dedicated Short Range Communication) teknolojisi ile araç-arac (V2V) ve araç-alt yapı (V2I) haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. Raylı sistemlerde ise çarpışma önleyici uygulamalar ile ilgili standardizasyon çalışmaları devam etmektedir.

Günümüzde güvenli ulaşımın sağlanması ve yol ve yol üzeri alt yapı sistemleri arası trafik yönetim teknolojilerinin geliştirilmesi için Akıllı Ulaşım Sistemleri'ne (AUS / ITS – Intelligent Transportation Systems) devlet, akademi ve endüstri liderleri tarafından önemli boyutlarda yatırımlar yapılmaktadır. ITS servislerinde kablosuz mobil haberleşme ve ağ teknolojileri anahtar rol oynamaktadır.

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)'nin bütünleşmiş bir parçası olan Araç-Araç Haberleşmesi (vehicle-to-vehicle – V2V) her geçen gün önem kazanmaktadır. V2V haberleşmesinin faydalarını sıralamak gerekirse (Matolak - 2006):

- Kaza olasılıklarını azaltması
- Yol güvenliğini artırması
- Gerçek zamanlı yol yoğunluklarının tespiti
- Hava durumu hakkında bilgi sağlaması

- Yol ve trafik verimliliklerinin artırılması
- Hareket halindeki araçlar arasında veri paylaşımı

Araç haberleşmesi genel olarak ele alındığında araç içi haberleşmesi, araç – alt yapı haberleşmesi ve araçlar arası haberleşme açılarından üç başlık altında incelenmektedir. Araç içi haberleşmesi genellikle kablolu iletişim temelli CAN Bus üzerinden sağlanmakta olup bu tez kapsamında ele alınmamaktadır.

Araç – altyapı haberleşmesinde araç ile yol kenarında sabit altyapısı kablosuz iletişim cihazları arasındaki tek veya çift yönlü veri iletişiminin sağlanması hedeflenmektedir. Araç - altyapı haberleşme cihazları hücresel mobil haberleşme ve WLAN destekli olmakla beraber araçlar arası haberleşmeyi sağlayan cihazlar ile uyumlu çalışmaktadır.

Araç-araç haberleşmesi araçlar arasında doğrudan sağlanan kablosuz veri iletişimini kapsamaktadır. Bu bağlamda araç üzerinde bulunan kablosuz iletişim modülü aracın üzerindeki algılayıcılardan, çevreden ve diğer araçlardan alınan verileri işleyerek çarpışma önleme ve sürücü bilgi desteği amaçlarla kullanılmaktadır.

Araç-araç ve araç-altyapı haberleşme sistemlerine ilişkin detaylı incelemeler ilerleyen bölümlerde verilmektedir.

V2V haberleşmesinde DSRC (Dedicated Short Range Communication) standardı bulunmasına rağmen; IEEE 802.11a WLAN (wireless local area network) standardının genişletilmiş versiyonu olan bu standart tüm uygulamalar için elverişli bulunmamaktadır.

Bu bağlamda, birinci bölümde ulaşım sektöründe artan trafiğin beraberinde getirdiği problemler ile yaygınlaşması kaçınılmaz olan AUS kapsamında V2V'nin genel tanımı yapılmakta olup; V2V tarihçesi, mimarisi ve standartları hakkında bilgi verilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, V2V konusunda dünyadaki uygulamalar, sistem bileşenleri ve standartlar ile ilgili literatür araştırmalarına yer verilmektedir. Bu bağlamda,

dalga formu alt yapısındaki temel bant işlemler, frekans ve bant genişliklerinin belirlenmesi ve kanal etkileri detaylı olarak incelenmektedir.

Tezin üçüncü bölümünde ise önerilen sistem modeli ele alınarak proje faaliyetleri, geliştirilen V2V sistemi çözümüne dair bilgiler verilmekte olup; yerli kaynaklar ile geliştirilmesi muhtemel sisteme yönelik olası çözüm önerileri sunulmaktadır. Yine bu bölümde kontrol ünitesi ve verilerin işlenmesi, RF alıcı-verici birimlerinin incelenmesi, kapsama analizleri ve antenlerin seçimi, test ve doğrulama faaliyetleri ve OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tabanlı dalga formlarının geliştirilmesi ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Son bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında ise; önceki bölümlerde ele alınan hususlara dair genel bir değerlendirme yapılmakta olup; çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.

Bu tez çalışması Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından desteklen 0508.STZ.2013-2 numaralı SANTEZ Projesi kapsamında gerçekleştirilen faaliyetlerin özeti niteliğinde olup; ülkemizde araç-arac haberleşmesi çerçevesinde yapılacak çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Araç-Araç (V2V) Haberleşmesi

V2V haberleşmesi ve araç kazalarının azaltılmasına yönelik çalışmalar her geçen gün literatürde yerini almaktadır (Fernandes, vd., 2010). Bu bağlamda, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kapsamındaki araç haberleşmesine ait teknoloji ve uygulamalara yönelik çalışmalara ağırlık verilmektedir (Papadimitratos, P., vd., 2009).

Araç-araç ve araç-alt yapı haberleşmesinde hareketliliğin performans üzerine etkisi ve BER (Bit Error Rate) analizlerinin sonuçları incelenmekte (Sassi, A., vd., 2011); yüksek hızlı platformlarda araç-araç haberleşmesi için fiziksel katmandaki performans analizleri verilmektedir (Ivan, I., vd., 2009).

Bir yandan güvenli araç haberleşme sistemlerindeki performans analizleri gerçekleştirilirken (Calandriello, G., vd., 2011); araçlar arası protokoller ve uygulamalar incelenmektedir (Jawhar, I., vd., 2010; Willke, T.L., vd., 2009).

V2V ve V2I haberleşmesi için deneysel yaklaşımlarda bulunulmuş ve araçlar üzerinde yapılan testlerdeki paket kayıpları, RTT (Round Trip Timing) süreleri ve mesafeye bağlı sonuçlar paylaşılmıştır (Jerbi, M., vd., 2007).

2.2. DSRC

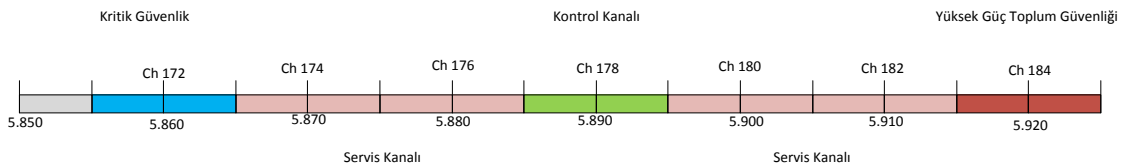
DSRC (Dedicated Short Range Communication) 'nin genel olarak araç-araç ve araç-alt yapı arası haberleşme ortamında yüksek veri iletim hızlarında, minimum gecikmeye sahip; toplum güvenliğini sağlama amacı ile kısa ve orta menzil aralığında (1000 metre) haberleşme servisi sağlayan veri linki şeklinde tanımlanır (Pesel, R., vd. 2012).

1991 yılında ABD Federal Haberleşme Komisyonu (U.S. Federal Communication Commission – FCC) tarafından 5.9 GHz merkez frekansında 75 MHz bant genişliğini araç-

araç ve araç-alt yapı sistemleri haberleşmesi için tahsis edilmiştir. Toplum güvenliğinin ön planda tutulduğu bu uygulamada can kayıplarının azaltılması ve trafik akışının iyileştirilmesi amaçlanmıştır (Pesel, R., vd. 2012).

2003 yılında IEEE 802.11p fiziksel katmanı ve 802.11 MAC (Media Access Control) katmanı tabanlı DSRC standardı ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından onaylanmıştır ve bu standart ASTM E2213-03 “Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange between Roadside and Vehicle Systems” olarak yayınlanmıştır. IEEE 802.11p; OFDM tekniğine dayanan IEEE 802.11a standardının genişletilmiş bir türevi olarak geliştirilmiş ve yüksek hareketli platformlarda 1000 metreye kadar haberleşme menzili sağlanmıştır.

Amerika’da DSRC spektrum bandı ve kanalları Şekil 2.1. ile verilmektedir.



Şekil 2.1. Amerika'da DSRC spektrum bandı ve kanalları

Şekil 2.1 ile görüldüğü üzere DSRC spektrumu 10 MHz’lik bant genişliğine sahip yedi kanaldan oluşmaktadır. Kanal 178 sadece güvenlik haberleşmesine tahsis edilmiştir ve kontrol kanalı olarak adlandırılmaktadır. Spektrumun her iki ucunda yer alan iki kanal ise özel kullanım için ayrılmıştır. Geri kalan kanallar ise güvenlik ve güvenlik dışı kullanım için ayrılmış olan servis kanallarıdır (Pesel, R., vd., 2012).

Amerika, Japonya ve Avrupa’da kullanılmakta olan DSRC standartlarına ait karşılaştırma Çizelge 2.1. ile verilmektedir.

Çizelge 2.1. Bölgelere göre DSRC standartları karşılaştırılması

	Japonya (ARIB)	Avrupa (CEN)	Amerika (ASTM)
Veri İletim Yönü	Araç Ünitesi: Half-Duplex Yol Ünitesi: Full-Duplex	Half-Duplex	Half-Duplex
Haberleşme Sistemi	Aktif	Pasif	Aktif
Radyo Frekans Bandı	5.8 GHz	5.8 GHz	5.9 GHz
Bant Genişliği	80 MHz	20 MHz	75 MHz
Kanallar	Uplink:7 Downlik:7	4	7
Kanal Ayrımı	5 MHz	5 MHz	10 MHz
Veri İletim Oranı	Uplink: 1 4 Mbps Downlink: 1 4 Mbps	Uplink: 500 Kbps Downlink: 250 Kbps	Uplink: 3-27 Mbps Downlink: 3-27 Mbps
Menzil	30 m	15-20 m	1000 m (max)
Modulasyon	2-ASK (1Mbps) 4-PSK (4Mbps)	Araç Ünitesi: 2-ASK Yol Ünitesi: 2-PSK	OFDM

V2V senaryosunda DSRC ve WAVE standartlarının operasyon yöntemi özetlenmektedir (Morgan, Y.L., 2010). Bir çalışmada ise Birleşik Devletler'deki DSRC Standardı tüm katmanları ile ortaya konulmaktadır (Kenney, J.B., 2011). Akıllı Ulaşım Sistemlerinde DSRC MAC katmanı sınırlama ve modelleri detaylı olarak verilmektedir (Zhu, J., vd., 2003). Araç-Araç haberleşmesi anayol senaryosu için DSRC/802.11p MAC Protokolü ve STDMA (Self Organizing Time Division Multiple Access) yöntemleri arasında benzetim tabanlı bir değerlendirmeler yapılmış; kanalım meşgul olduğu senaryolar temel alınmış ve zaman kritik trafik güvenliği uygulamalarında CSMA (Carrier Sense Multiple Access) yöntemine dayanan IEEE 802.11p MAC metodu yerine STDMA yöntemi önerilmiştir (Khairnar, vd., 2013).

2.3. Standartlar

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) genel olarak hava, deniz, kara ve raylı ulaşım sektörlerinde ulaşım ağlarının işletim ve yönetilmesi uygulamaları olarak tanımlanabilir. Bu doğrultuda emniyeti sağlarken sistem kazancı ve verimliliğini arttırmak, altyapı ve trafik akışlarını yönetmek üzere sistem ile uygulamaların araştırılması, planlanması, tasarımı, entegrasyonu ve doğrulama ve geçerli kılınmasından oluşan bir süreçtir. Bu süreç içerisinde verilerin ve iletişimin farklı modlarda birlikte çalışabilirliğinin (inter-operabilite) sağlanması, kullanıcı tarafından gerçek zamanlı izlenmesinin sağlanması gerekmektedir (Tufan, H., 2014).

Dedicated Short Range Communications (DSRC) sistemi AUS'un telematik servisleri açısından kritik önem taşımaktadır. Bu yüzden, DSRC cihazları arasındaki birlikte çalışabilirliği sağlayan Araç Ortamında Kablosuz Haberleşme (WAVE - Wireless Access in Vehicular Environments) ve IEEE 802.11p gibi standartlar her geçen gün önem kazanmaktadır (Xiang, W., vd., 2008.; Hu, Y., vd., 2009.). Araç-araç haberleşmesi ile ilişkili standartlar ve güncel durumları çizelge 2.2. ile verilmektedir:

Çizelge 2.2. DSRC Standartları ve güncel durumları

Standart	V2V ile İlişkisi	Son Yayınlanma Tarihi	Güncel Durumu
IEEE 802.11p-2010	DSRC ve Wi-Fi operasyonları	15 Temmuz 2010	Yayınlanmış
IEEE P1609.0-2013	IEEE 1609 Standartları için rehberlik	5 Mart 2014	Aktif
IEEE 1609.2-2016	Güvenlik	1 Mart 2016	Aktif
IEEE 1609.3-2016	Veri değişimi / mesaj yapısı	29 Nisan 2016	Aktif
IEEE 1609.4-2016	Kanal değiştirme modları	21 Mart 2016	Aktif
IEEE 1609.12-2016	Mesaj tanımlamaları	25 Mart 2016	Aktif
SAE J2735_201603	Mesaj elementleri	30 Mart 2016	Güncellenmiş
SAE J2945/1_201603	Mesaj gereksinimleri	30 Mart 2016	Yayınlanmış

Yüksek hızlarda hareketlilik içeren ortamlar için kablosuz haberleşme standartları VAS (Vehicle Alert System) Projesi özelinde araştırılmıştır. Hazırlanan raporda IEEE 802.11p, WAVE, DSRC gibi standartlar ve kablosuz geniş bant ağlar için geliştirilen protokollerin detaylı bir şekilde incelendiği görülmüştür (Bilstrup, K., 2007).

Benzer şekilde 802.11p ve WAVE haberleşme standartları performans değerlendirmeleri yapılan çalışmada, zaman kritik mesajların yayılmasında MAC kuyrukları yerine sistemle entegre bir tekrar değerlendirme mekanizması önerilmektedir (Eichler, S., 2007).

Mevcut standartların iyileştirilmesine yönelik çalışmada V2V haberleşmesi kapsamında ek yüklerin performans etkileri değerlendirilmiş olup; mevcut güvenlik mekanizmasının getirdiği ek yüklerin V2V performansını olumsuz etkilediği ve yerine güvenlik katmanında hesaplamalı bir ek yük işleminin konulabileceği tavsiyesinde bulunulmuştur (Iyer, A., vd., 2008).

2.3.1. Ağ alt yapısı

Günümüzde iki farklı ağ yapısında bulunan haberleşme cihazları arasındaki bağlantı ISO (International Organization for Standardization)'nun tanımadığı OSI (Open System Interconnection) modeline göre belirlenmektedir. Bu doğrultuda OSI model katmanları ve kullanılan veri birimleri Şekil 2.2. ile verilmektedir.

Sunucu Katmanları	Uygulama Katmanı (Application)	Veri
	Sunu Katmanı (Presentation)	
	Oturum Katmanı (Session)	
	Taşıma Katmanı (Transport)	Bölüt
Ortam Katmanları	Ağ Katmanı (Network)	Paket
	Veri Bağlantı Katmanı (Data Link)	Frame
	Fiziksel Katman (Physical)	Bit

Şekil 2.2. OSI modelinde katmanlar

DSRC kapsamında ele alınan IEEE ve SAE Standartlarının ağ katmanları ile ilişkisi Şekil 2.3. ile verilmektedir.

SAE J2735	Güvenlik Uygulamaları Alt Katmanı	
	Mesaj Alt Katmanı	IEEE 1609.2 Güvenlik
IEEE 1609.3	WSMP	
IEEE 802.2	LLC Alt Katmanı	
IEEE 1609.4	MAC Alt Katmanı Uzantısı	
IEEE 802.11p	MAC Alt Katmanı	
	Fiziksel Katman	

Şekil 2.3. IEEE ve SAE standartları

2.3.2. SAE J2735

SAE J2735 standardı bir mesaj kümesini belirtmektedir. Bu standart kendine özel veri çerçeveleri ve veri elemanları içermektedir. Bu standardın veri çerçeveleri ve veri elemanları araç ortamlarında kablosuz erişim için (WAVE) 5,9 GHz frekansını kullanan DSRC (Dedicated Short Range Communications) teknolojisinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. SAE J2735 standardı daha çok DSRC için tasarlanmış olsa da diğer kablosuz haberleşme teknolojilerinde de kullanılmaktadır. Bu yüzden bu standart belirli mesaj yapılarına sahiptir. Bu özelliği ile okuyucuya yeterli arka plan bilgilerini sunar ve uygulama geliştiricisi tarafından mesajların algılanmasını sağlar.

J2735 tarafından belirlenen mesaj kümeleri, uygulama tabakasındaki haberleşme sistemi tarafından dağıtılan mesaj içeriklerini tanımlamaktadır. Böylece fiziksel tabakadaki mesajların veri yükü tanımlanmış olmaktadır. Bir haberleşme sistemini ile diğer haberleşme sistemi arasındaki uygulamaların sonucu oluşan mesajların iletimini ve dağıtımını sağlamak için J2735 in mesaj kümeleri DSRC protokolünün en düşük

tabakasına dayanmaktadır. Düşük katmanların adreslemesi 802.11p protokolü tarafından yapılırken yüksek katmanlar ise 1609.x serisi ile kaplanmaktadır.

J2735 standardının mesaj kümelerini belirlemesi, veri çerçeveleri ve veri elemanları olması uygulamaları standartlaştırma ihtiyacını ortadan kaldırır. Bu da uygulama katmanında birlikte çalışabilirliğe olanak sağlar. Ayrıca farklı modellere sahip araçlar arasındaki birlikte çalışabilme uyumu ulusal düzeyde bir altyapı ile desteklenmelidir. J2735 standardının mesaj kümeleri 15 mesaj, 72 veri çerçevesi, 146 veri elemanı ve 11 adet dışarıdan veri girişine sahiptir. J2735 standardının sahip olduğu bazı mesajlar şunlardır:

- **Heartbeat mesajı:** Araçların çevresel durum tespiti yapmasını sağlar.
- **A la carte mesajı:** Esnek verilerin takasına izin vermek için kullanılır.
- **Basic safety mesajı:** Araç güvenliği ile ilgilidir. Periyodik olarak aracın çevresine yayın yapmasını sağlar.
- **Emergency vehicle alert mesajı:** Çevredeki araçlara uyarı yayını yapılmasını sağlar. Acil durumlarda acil durum araçları etrafı kontrol eder.
- **Generic transfer mesajı:** Araçlar ve yol kenarlarındaki birimler ile ana veri akışını sağlar.
- **Probe vehicle data mesajı:** Yoldaki bölümlere göre seyahat durumunu düzeltir veya düzenler.
- **Common safety request mesajı:** Eğer bir araç başka bir aracın güvenlik mesajını alırsa, güvenlik mesajını alan araç kendi güvenlik uygulaması tarafından gerekli mesajı diğer araca gönderir. Bu durumun gerçekleşmesini common safety request mesajı sağlamaktadır.
- **Basic safety mesajı:** Bu mesajla farklı araçların güvenlik uygulamaları birlikte çalışabilmektedir. Bu da birden fazla aracın güvenliklerini sağlamaktadır.

2.3.3. IEEE 1609.X

IEEE 1609.x ailesi standartları, IEEE802.11p standartları ile birlikte araç ortamlarında kablosuz erişimi sağlamak ve yönetmek amacıyla oluşturulmuştur. IEEE 1609.x ailesi standartları aşağıdaki nitelikleri kapsamakta ve belirlemektedir.

- Sistem mimarisi
- İletişim Modelleri
- Sistemin yönetim yapısı
- Güvenlik mekanizmaları
- Yüksek hız (27 Mbps'e kadar), kısa mesafe (1000m'ye kadar) ve düşük gecikme süreleri için fiziksel erişim.

2.3.3.1. IEEE 1609 ailesi ve standartları

IEEE 1609.0 Draft Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE): Bu standart WAVE in mimarisini açıklar. Ayrıca 1609 ailesi standartlarının uyumlu bir birliktelikle nasıl çalışabileceğini ve Dedicate Short Range Communications (DSRC)/WAVE araçlarının çoklu kanalları için gereklilikleri sunar.

IEEE 1609.2 Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE): Bu standart yönetimsel mesajlar ve uygulamalar için güvenlik servisi kapsamında kullanılmaktadır. 1609.2 standardı güvenlik mesajının formatını ve süreci tanımlar. Ayrıca bu standart güvenlik mesajı iletiminde ve mesajın karşı araç tarafından alındığındaki uygulanacak süreçlerin standartlarını belirtir.

IEEE 1609.3 Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE): Bu standart network servisleri aracılığı ile network ve verilerin taşınması ve iletimi tabakalarındaki standartları belirler. Ayrıca 1609.3 standardı WAVE in kısa mesajlarının yapısını ve yine WAVE protokolü için gerekli olan Management Information Base (MIB) i tanımlamaktadır.

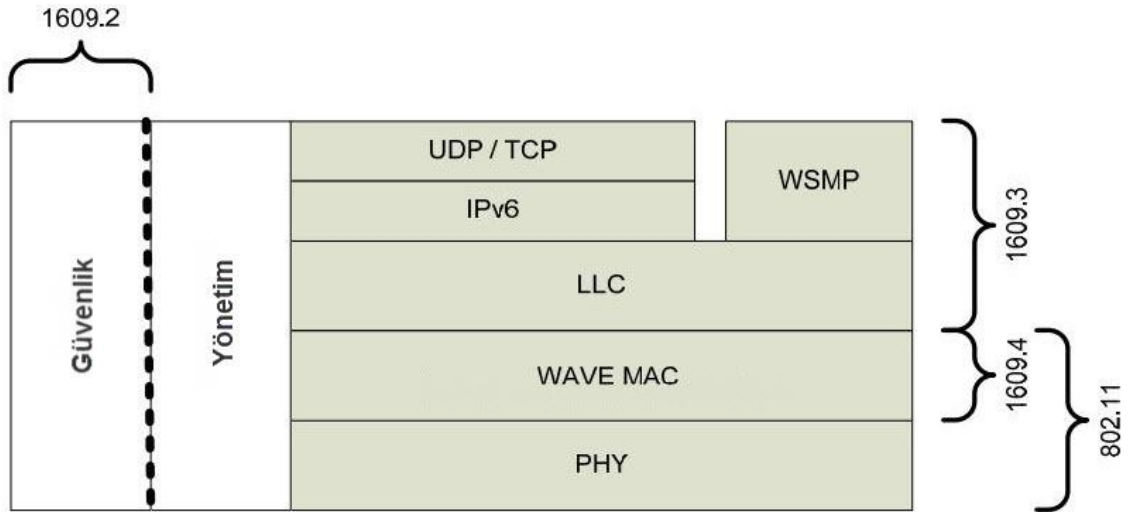
IEEE 1609.4 Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE): Bu standart çoklu kanal operasyonları ile çok kanallı WAVE operasyonlarını desteklemek için kullanılan IEEE 802.11 Media Access Control (MAC) deki geliştirmelere olanak sağlar.

Draft IEEE 1609.6: Bu standardın sahip olduğu uzaktan yönetim servisi araçtaki WAVE cihazlarının yönetilmesi için gerekli birlikte çalışabilir servisleri sağlar.

IEEE 1609.11 Over-the-Air Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS): Bu standart güvenli elektronik harcamalar için gerekli servisleri ve güvenlik mesajlarının formatını belirler.

IEEE 1609.12 Identifier Allocations: Bu standart WAVE sistemi tarafından kullanılmak üzere kimlik değerlerinin ayrıştırılması aşamasındaki standartları tanımlar.

IEEE 1609 WAVE mimarisi Şekil 2.4 ile verilmektedir.



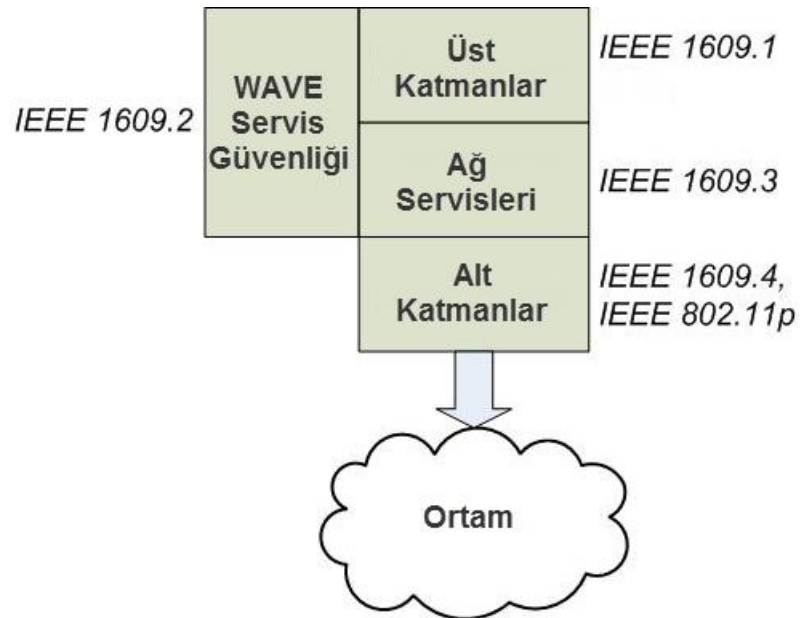
Şekil 2.4. IEEE 1609 WAVE mimarisi

Araçlar arası haberleşme standartları ve kullanım alanları Çizelge 2.3. ile verilmektedir.

Çizelge 2.3. Araçlar arası haberleşmede standartları ve kullanım alanları

Standartlar	Kullanım Alanı
IEEE Std 1609.1	Kaynak Yönetimi
IEEE Std 1609.2	Güvenlik Servisleri
IEEE Std 1609.3	Network Servisleri
IEEE Std 1609.4	Çoklu Kanal Operasyonları
IEEE Std 1609.5	İletişim Yönetimi
IEEE Std 802.11p	WAVE MAC ve PHY
IEEE Std 802.11	MAC ve PHY

Araçlar arası haberleşme standartlarının katmanlara göre kullanımı Şekil 2.5. ile verilmektedir.



Şekil 2.5. Araçlar arası haberleşmede standartların katmanlara göre kullanımı

2.3.4. IEEE 802.11p

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) tarafından 1997 yılında yayınlanan 802.11 standardı ile ortam erişim protokolünü ve fiziksel katmanı tanımlamaktadır. Bu standarda uyumlu olarak geliştirilen ürünler Amerika'da ISM

(Industry, Science, Medicine) olarak anılan ve lisans gerektirmeksizin kullanılan 2.4 GHz merkez frekansında çalışmakta ve 1 Mbps'den 2 Mbps'e veri transferi sağlayabilmektedir.

Çizelge 2.4. 802.11 standardının bazı özellikleri

Standart	Frekans	Maksimum Veri Hızı	Mesafe
802.11	2.4 GHz	2 Mbps	75 m

Çizelge 2.4. ile 802.11 standardının bazı özellikleri verilmiştir. 802.11, 2.4 GHz bandında FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) tayf yayılım tekniğini kullanmakta ve 2 Mbps'a kadar veri iletimi sağlayabilmektedir. 802.11 kısıtlı bant genişliğine rağmen frekans atlama tekniği ile güvenli iletişim altyapısı sağlamaktadır. Çizelge 2.5 ile 802.11 standardına ait özelliklerin artı ve eksi yönleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. 802.11 standardının avataj ve dezavantajları

Artıları	Güvenli bir altyapıya sahiptir. Bu yüzden birçok elektronik ve teknolojik cihazla aynı frekansta çalışmasına rağmen sistemlerle oluşabilecek parazitten etkilenme olasılığı azdır.
Eksileri	Toplam bant genişliğinin 1-2 Mbps gibi bir hızla kısıtlı olmasıdır.

Akıllı araçlar üzerine yapılan çalışmaların yaygınlaşması üzerine standartlaşma ve frekans tahsisi girişimleri de hız kazanmıştır. Akıllı araçların haberleşmesine yönelik geliştirilen standartlardan ilki olan 802.11p IEEE tarafından geliştirilmiştir. 802.11p araç-araç haberleşmesi için Ortam Erişim Denetimi (OED, Media Access Control MAC) ve fiziki katmanlarında 802.11'e yapılan eklentileri içermektedir. İlişkili konudaki bir diğer standart olan Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) IEEE 1609 standart ailesi taslak halini korumaktadır. WAVE IEEE 1609.X standardı ağa ilişkin güvenlik ve yönetim konularını ele almaktadır.

802.11p standardı, araç-araç haberleşmesi alt yapısını çok kanallı bir ortam üzerine inşa etmektedir. ABD'de Birleşik Devletler İletişim Kurumu 5.850-5.925 GHz aralığında 75 MHz'lik bir bant genişliğini araçtan araca ve araçtan altyapıya iletişim için tahsis etmektedir. Bu frekans aralığı Adanmış Kısa Mesafe İletişim (AKMİ, Dedicated Short Range Communication DSRC) olarak adlandırılmaktadır. 7 kanala ayrılarak bu frekans aralığı 10 MHz bant genişliğine sahiptir. Bahsi geçen frekans aralığının Avrupa'da ve

Türkiye’de askeri radarlar ve sabit uydu hizmetleri için tahsis edilmiş olup ülkemizde kullanılamamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda araçlar arası haberleşmede 802.11p standardını destekleyen donanımlar en iyi çözümü sunmaktadır. Ancak 802.11p standardının yeni gelişen bir teknoloji olması sebebiyle kullanımı henüz çok fazla yaygınlaşmamıştır. Bu nedenden dolayı test ortamında IEEE 802.11p destekli donanım yerine, olan IEEE 802.11a destekli donanım kullanılması uygun görülür. Bu kararın verilmesinde IEEE 802.11a’nın ülkemizde pek çok ürün tarafında destekleniyor oluşu ve kolayca temin edilebilmesinin yansira IEEE 802.11p ye en yakın standart olmasının da etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 2.6 ile 802.11p ile 802.11a standartlarının bazı özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.6. 802.11 a-p standartlarının karşılaştırılması

Parametreler	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	Farklılıklar
Veri hızı (Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	Yarısı
Kiplenim türü	OFDM	OFDM	Fark yok
Kod oranı	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4	Fark yok
Alt taşıyıcı sayısı	52	52	Fark yok
Sembol süresi	4 μ s	8 μ s	İki katı
Koruma zamanı	0.8 μ s	1.6 μ s	İki katı
Başlangıç süresi	16 μ s	32 μ s	İki katı
Alt taşıyıcı boşluğu	0.3125 MHz	0.15625 MHz	Yarısı

Çizelge 2.6. ile görüldüğü üzere her iki standart da OFDM altyapısı üzerine kurulmuş olup; aynı kodlama oranları ve taşıyıcı sayılarına sahiptir. Ancak 802.11a tam saat hızı olan 20 MHz’de çalışmakta iken 802.11p fiziki katmanı için 20 MHz, 10 MHz ve 5 MHz olmak üzere üç ayrı mod tanımlanmış; saat frekansı değişimi ile modlar arası geçiş yapılabilmektedir.

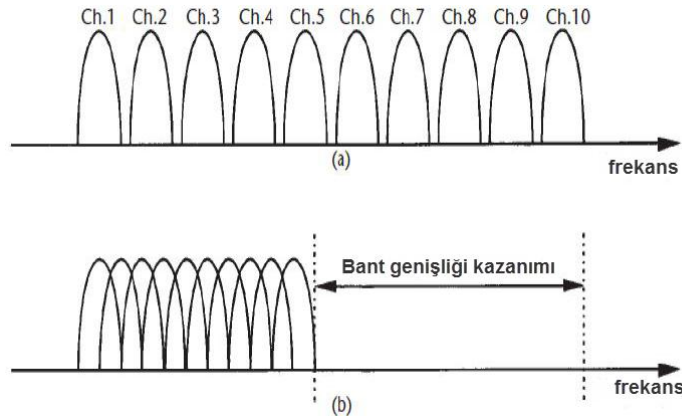
2.4. Temel Bant İşlemler

Araçlar arası haberleşme kapsamındaki temel bant işlemler sırasında kullanılan dalga formu olan IEEE 802.11p fiziksel katmanının kodlanması ile hazırlana FPGA uygulamaları bulunmaktadır (Kiokes, G., vd., 2013).

Tekrar ayarlanabilir OFDM alıcısının kablosuz Mesh ağlar için tasarımı (Dutta, A., 2002); Tx/Rx OFDM sistem tasarımı (Gutiérrez, F.M, 2009); Yazılım tabanlı OFDM uygulaması (Fifield J.M., 2006); OFDM sistemlerinin kanal çıkarımı ve eş zamanlama çalışmalarının (Zhou H., 2013) FPGA üzerinde uygulanmalarını temel alan çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bunlara ek olarak, DSRC alt yapısının yazılım tabanlı radyo mimarisi kullanılarak FPGA uyumlandırması üzerinden gerçekleştirilebilirlik çalışmaları yürütülmüştür (Dulmage, J., vd., 2006).

2.4.1. OFDM yapısı

Geleneksel FDM modelinde taşıyıcılar ve frekans bantları boşluk (guard) bantları kullanımı ile birbirinden ayrılmaktadır ve alıcı tarafında filtreler ve kip çözücüler aracılığı ile sinyaller çözülmektedir. Ancak spektrum verimliliğini düşüren bu yöntem yerine; OFDM, taşıyıcı sinyalleri dik bir şekilde birbiri üzerine bindirerek taşıyıcı girişimi sağlamaktadır. Bu sayede bant genişliği etkili bir biçimde düşürülmektedir. Dik sinyallerin kullanımı ve spektrum verimliliği Şekil 2.6 ile verilmektedir.



Şekil 2.6. Dik sinyallerin (a) kullanımı ve (b) spektrum verimliliği

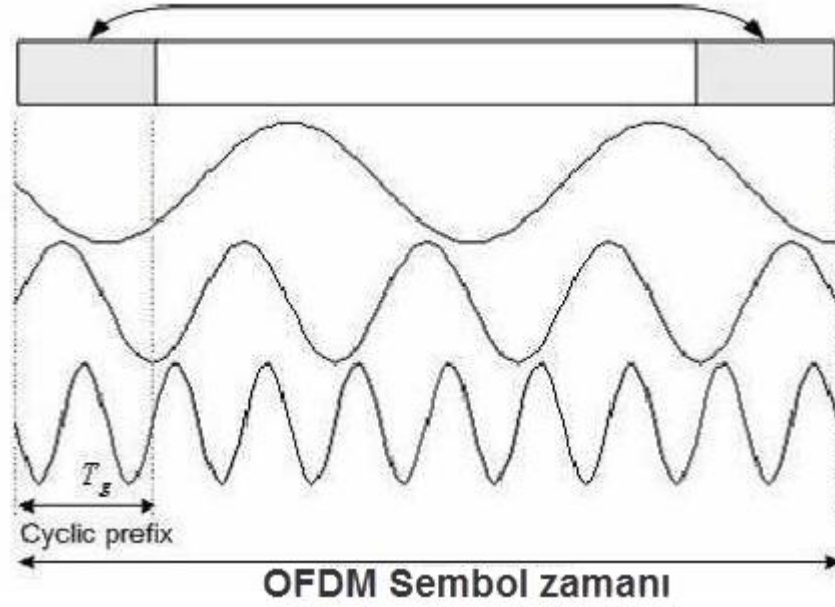
İki sinyalin dik olarak adlandırılabilmesi için nokta çarpımları sonucunun sıfır olması gerekmektedir. Boşluk (GI) ve çevrimsel önek (CP) alt taşıyıcılar arasındaki dikliği sağlamak için FFT tabanlı OFDM sistemlerinde de kullanılmaktadır (Bhat, N.S., 2012).

Çok taşıyıcı haberleşme metotlarından biri olan OFDM kiplenim frekanslarının birbiri ile dik olması temeline dayanmaktadır. Hem çoğullama hem de kiplenim işlemlerini içinde barındıran OFDM tekniği Fourier Dönüşüm algoritması kullanılarak dik alt taşıyıcı frekansları verimli bir şekilde elde edilmektedir. (Dutta, A., 2002).

Bir OFDM sinyali aralarında Δf kadar frekans farkı bulunan N tane alt taşıyıcıdan meydana gelmektedir. Bu sayede sistemin toplam bant genişliği olan B , N eşit mesafedeki alt kanala bölünmektedir. Ayrıca; her bir alt taşıyıcının sembol süresi olan $T_s = 1/\Delta f$ aynı bant genişliğine sahip olan tek taşıyıcı sisteme oranla N kez daha geniştir.

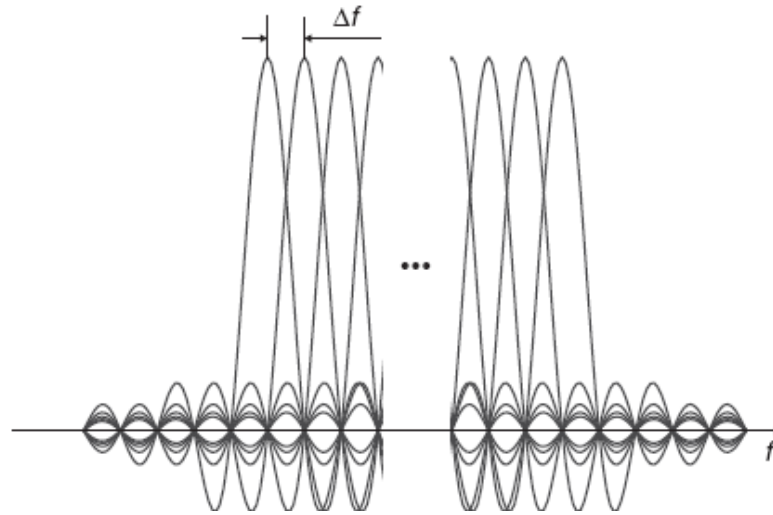
Sembol uzunluğuna ek olarak; her bir alt taşıyıcı sinyali çevrimsel önek ya da boşluk olarak adlandırılan T_g kadar uzatılmaktadır. Bütün alt taşıyıcılar T_s sembol süresi boyunca karşılıklı diktir.

Her bir alt taşıyıcı üzerine dikdörtgen darbe şekillendirme (rectangular pulse shaping) işlemi uygulanır. Çoklu yol (multipath) kanallarda gözlemlenen semboller arası girişimin (ISI – Intersymbol Interference) önüne geçilmesi için alt taşıyıcı sinyallere boşluklar ya da çevrimsel uzantılar eklenir. Tüm alıcılarda çevrimsel uzantı çıkarılarak sadece $[0, T_s]$ zaman aralığındaki sinyal değerlendirilir. Bütün OFDM bloğunun uzunluğu ise $T = T_s + T_g$ ile ifade edilmektedir ve her bir alt taşıyıcı bağımsız olarak modüle edilmektedir. OFDM sembol zaman aralığında çevrimsel uzantının eklenmesi Şekil 2.7 ile verilmektedir:



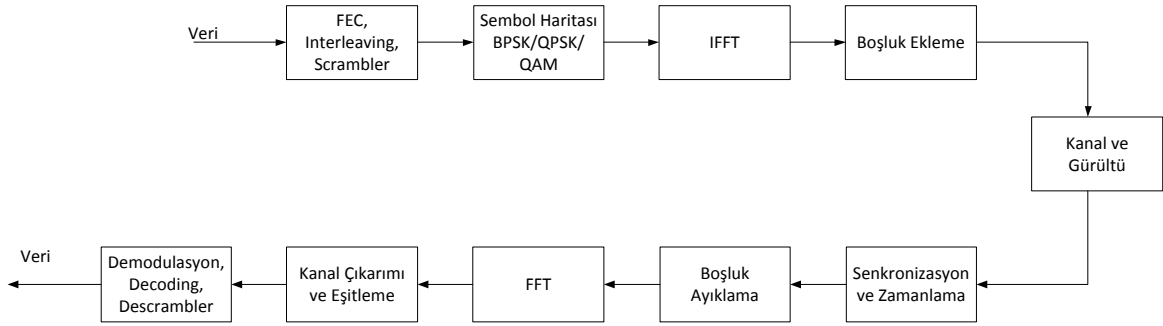
Şekil 2.7. Çevrimsel uzantının eklenmesi

OFDM sisteminin bant genişliği $B = N\Delta f$; örnek zamanı ise $t = 1/B = 1/\Delta f$ olarak ifade edilmektedir. OFDM alt taşıyıcılarının gösterimi Şekil 2.8. ile verilmektedir.



Şekil 2.8. OFDM alt taşıyıcılarının gösterimi

OFDM sinyali verici tarafında IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) bloğu aracılığı ile oluşturulur ve alıcı tarafında FFT (Fast Fourier Transform) bloğu aracılığı ile çözülmektedir. OFDM haberleşme sistemine ait temel blok diyagramı Şekil 2.9 ile verilmektedir. (Dutta, A., 2002).



Şekil 2.9. OFDM mimarisini temel blok diyagramı

IEEE 802.11p standardına göre OFDM fiziksel katmanı 64 adet alt taşıyıcı bulundurmaktadır.

OFDM genellikle 10 MHz ya da 20 MHz olarak tanımlanmış olan bant genişliğini 52 dik alt kanala ya da farklı frekanslarda alt taşıyıcılara bölmektedir. Bu 52 alt taşıyıcı seçilen veri iletim hızına bağlı olarak BPSK, QPSK, 16QAM ya da 64QAM tekniklerini kullanarak kiplenim işlemine tabi tutulur. İleri hata kodlama olarak ise 1/2, 2/3 ve 3/4 kodlama oranlarına sahip kıvrımsal kodlama yöntemi kullanılmaktadır.

48 adet alt taşıyıcı frekansı veri iletiminde kullanılırken; 4 adet alt taşıyıcı frekansı eş zamanlamanın sağlanması için kullanılan pilot verilerinin iletilmesinde kullanılmaktadır. Bu sayede 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 ve 27 Mbps veri hızlarında haberleşme sağlanabilmektedir (Kiokes, G., vd., 2013).

OFDM'in en büyük avantajı çoklu yol (multipath) yayılımlarına karşı direnç sağlamasıdır. Bu nedenle kablosuz ortamlarda kullanıma elverişli bir yapı sunmaktadır. OFDM sisteme eklenen çevrimsel önek (cyclic prefix) yardımı ile zaman bozulmalarına karşı direnç sağlanırken; birden fazla paralel veri akışı sayesinde sembol oranları düşük tutulmaktadır. Bu sayede, bir OFDM sembol süresinde kanal üzerindeki bozulmalar sabit olarak nitelendirilebilecek kadar yavaştır.

OFDM'in dezavantajlarından biri de yüksek tepe-ortalama gücü (peak-to average-power) oranına ihtiyaç duymasıdır. Bu nedenle sinyal yükselticilerinin (amplifiers) doğrusallığına bağlıdır. OFDM'in bir diğer dezavantajı ise eş zamanlama hatalarının dikliği bozması ve girişime neden olmasıdır. Faz gürültüsü ve Doppler kayması OFDM

sisteminde bozulmalara neden olmaktadır. Bu durum, OFDM için hassas frekans eş zamanlamasının sağlanması için öncelik verilmesini gerektirmektedir. Özetle, bir OFDM sisteminin başlıca avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmaktadır (Gutiérrez, F.M, 2009):

Avantajları:

- N tane dar bantlı veri iletimi sayesinde kanal üzerine binecek hatalardan en az oranda etkilenmesi
- Yüksek veri iletim hızları
- Bozulmalardan etkilene kanalların değişimine olanak sağlaması

Dezavantajları:

- Hassas eş zamanlama algoritmaları gerektirmesi
- Dikliği bozabilecek kanal etkilerine karşı hassas olması
- Alt taşıyıcı sinyalleri arasında yüksek tepe-ortalama gücü (peak-to mean power) oranının sinyalde bozulmalara sebep olabilmesi

V2V haberleşmesinde her geçen gün artan araç sayısı ve hareketlilik istekleri kapsamında, standartların gözden geçirilme ihtiyacına ek olarak OFDM teknolojisinin bu konudaki yeterliliği de değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, mevcut OFDM mimarileri ele aldıkları yayın incelenmiştir. Bu kaynakta, çok taşıyıcılı filtre prototipleri ve kafes yapıları önerilmiştir (Şahin A., vd., 2014).

2.4.2. Frekans ve bant genişliğinin belirlenmesi

Demiryolu sistemlerinde Araç-Araç ve Araç-Altyapı haberleşme cihazları için 11 Eylül 2012 tarihli ve 28408 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan KET (Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazları) Yönetmeliği’nin Genel amaçlı KET cihazları başlıklı 6’ncı maddesi ve Demiryolu uygulamaları başlıklı 9’uncu maddesinde belirtilen şartları karşılamak kaydıyla ve Kurumca belirlenen teknik kriterlere uygun olmak kaydıyla telsiz ruhsatnamesi, telsiz kurma ve kullanma izni ile frekans tahsis ve tesciline gerek olmaksızın kurularak kullanılabilir. Söz konusu sistemlerde kullanılacak frekanslar ve uyulması gereken teknik kriterler KET Yönetmeliği’nde Tablo 1 ve Tablo 2 ile özetlenmektedir. Ayrıca

frekans bant seçimi konusundaki araştırma KET Yönetmeliği Karayolları Taşımacılık ve Ulaşım Telematik Sistemleri başlıklı 10'uncu maddesi ve SBT Yönetmeliği ile genişletilmiştir.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından yayınlanan KET Yönetmeliği ve SBT Yönetmeliği ilgili maddeleri irdelenmiştir. Bu doğrultuda demiryolu sistemlerinde Araç-Araç ve Araç-Altyapı haberleşme cihazları için Çizelge 2.7 ile belirtilen frekans bantlarının her iki yönetmelikte belirtilen şartları karşılamak kaydıyla ve Kurumca belirtilen teknik kriterlere uygun olmak kaydıyla telsiz ruhsatnamesi, telsiz kurma ve kullanma izni ile frekans tahsis ve tesciline gerek olmaksızın kurularak kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.7. AHB için kullanılabilir frekans bantları

Sıra No	Frekans Bandı
1	433.05 - 434.79 MHz
2	863 - 870 MHz
3	868.000-868.600 MHz
4	2400 - 2500 MHz
5	5725 - 5875 MHz

2.4.3. Kanal etkilerinin analiz edilmesi

Haberleşme sistemleri üzerine yirmi yılı aşkın süredir pek çok çalışma yapmış olan ve NASA ile birçok ortak projesi bulunan Matolak'ın yayımlanan bir araştırmasında Araç-araç haberleşmesi için kanal modelleri incelemiş, istatistiksel kanal modelleri çıkarılmış ve örnek bir Araç-araç haberleşmesi kanal modeline yönelik sonuçlar paylaşılmıştır (Matolak, D.W., 2008).

5 GHz bandında Araç-araç Kanal Modelleri çalışmasında kanal modellerine ve gerçek ölçümlere ait sonuçlar paylaşılmış; sinyalin zaman ekseninde yayılması, genlik istatistikleri ve korelasyonları irdelenmiştir (Sen, I., 2008).

Çarpışma önleyici uygulamalarda Araç-Araç radyo kanalı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları raporlanmıştır. Trafik tıkanıklığı ve görüş hattı istikametinin (LOS) engellenmesi senaryolarını temel alan çalışmada MIMO (Multiple Input Multiple Output) ve SISO (Single Inpu Single Output) radyo mimarileri kullanılarak detaylı ölçümler elde edilmiştir (Paier, A., vd., 2010).

V2V haberleşmesinde kanal modellemesinde kayıplı (path loss) ve sönümlenen (fading) modeller listelenerek irdelenmiş; V2V ve hücresel ağ kanalları karşılaştırılmış ve benzetim sonuçları ile raporlanmıştır (Dhor, S., vd., 2011).

VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) benzetimleri için V2V kanal modellemesi bu konuda yapılan çalışmalar kapsamında genel bir bakış açısı sunmakla beraber zaman ve frekansta dağılmış kanal modellerinin fiziksel özelliklerine yönelik benzetim sonuçları ortaya çıkarmış; SISO ve MIMO mimari yapılarını karşılaştırmıştır (Boeglen, H., vd., 2012).

Araç-Araç haberleşme sistemleri için geniş bant kanal modellemesi taşıyıcı sinyalleri arası girişimin elimine edilmesine yönelik çözüm önerisi sunulmaktadır (Cheng, X., vd., 2013).

2.4.3.1. Çifterli ayırgan kanal etkileri

Çifterli ayırgan kanal (DDC-Doubly-Dispersive Channel) için darbe şekillendirici uygulanmış yeni çok taşıyıcılı kiplenim tekniği önerilmektedir. Bu sayede denkleştirme (equalization) işleminde performans attırılırken karmaşıklığın düşürüleceği sunulmaktadır (Schniter, P., 2003).

Verici tarafında bilinen bir dizinin gönderilmesi yardımıyla DDC için kanal çıkarımı yapılması önerilmektedir (Schniter, P., 2006).

Hem zaman hem de frekans düzleminde seçicilik gösteren kanallarda OFDM kiplenim tekniği için düşük karmaşıklık seviyesinde denkleştirme algoritması önerilmektedir. Çalışmada, önerilen modelin klasik minimum ortalama kare hatası

(MMSE-Minimum Mean Square Error) ve sıfıra zorlama (Zero-Forcing) yöntemleri ile karşılaştırılmasına yer verilmiştir (Schniter, P., 2004).

DD kanallar için darbe şekillendirme sırasında diklik kullanılmaması ya da yerine çifte dikliğin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu sayede sinyalin girişim ve gürültüye oranının (SINR) maksimize edilmesi amaçlanmaktadır (Schniter, P., 2004).

DDC için yine farklı bir darbe şekillendirici ile birlikte frekans bölmeli çoğullama (FDM) tekniği önerilmektedir (Das, S., Schniter, P., 2004). Liu ile yaptığı bir başka çalışmada ise DDC'de tek taşıyıcı sistemler için frekans düzleminde tekrarlamalı denkleştirme yöntemi sunulmaktadır (Schniter, P., vd., 2004).

SINR (Signal to Interference Plus Noise Ratio)'ı maksimize eden ISI (Intersymbol Interference) ve ICI (Intercarrier Interference)'ya göre şekillendirilmiş çok taşıyıcı haberleşme sistemi üzerine çalışmalarına devam etmişlerdir (Das, S., vd., 2007).

Schniter'in çalışmalarına benzer olarak Kozek de yaptığı bir çalışmada DDC için OFDM'in aksine dik olmayan darbe şekillendirilmiş çok taşıyıcı haberleşmenin temellerini atmıştır (Kozek, W., vd., 1998). OFDM sinyalinin DDC ile beraber kapsamlı bir incelemesine 2002 yılında hazırlanan tezde sunulmaktadır (D'Silva, S., 2002).

Çok taşıyıcı DDC sistemler için kapsamlı çıkarımlarda bulunmuş, sızıntı etkileri ve çeşitli optimizasyon algoritmaları sunulmuştur (Taubock, G., vd., 2010). DDC ve yüksek hızların dahil olduğu hareketli sistemlerde çok taşıyıcı haberleşme için Seyretme denklemleri ve en küçük kare (LSQR- Sparse Equations and Least Squares) tabanlı taşıyıcılar arası girişim (ICI-Inter Carrier Interference) denkleştirici ve geri beslemeli LSQR denkleştiricisi tercih edilmektedir (Taubock, G., vd., 2007; Taubock, G., vd., 2011).

DDC'nin MIMO ve kablosuz çok taşıyıcı sistemlerde çeşitli analiz, optimizasyon ve uygulama çalışmaları incelenmiştir (Matz, G., 2006; vd., 2007).

Hareketli ortamlarda kanal çıkarımını ele aldığı çalışmada ise darbe şekillendiricili çok taşıyıcı sistemlerde pilot sembollerinin azaltılması ile tayf verimliliği arttırılmıştır (Taubock, G., vd., 2008).

Zaman ve frekans dağılımlı kanallarda altıgen çok taşıyıcı kiplenim yönteminin önerildiği çalışmada, sinyalin direnç faktörü göz önünde bulundurulmuş ve bu doğrultudaki sonuçlar paylaşılmıştır (Han, F., vd., 2007).

DDC üzerine yapılan diğer çalışmalarda ise ortogonal zaman-frekans sinyali incelenirken (Liu, K., vd., 2004); bir başka çalışmada optimize edilmiş darbe şekillendiricili OFDM mimarisi sunulmaktadır (Trigui, I., vd., 2007). Zamanda ve frekansta yayılım yapan kanallar için bir başka optimal OFDM tasarımı sunulmaktadır (Stromer T., vd., 2003). OFDM mimarisine karşı filtre bankalı çok taşıyıcı sistem önerilmektedir (Farhang-Boroujeny B, 2011).

DD kanallarda darbe şekillendirme dışında önerilen bazı çalışmalar ise aşağıda sıralanmaktadır:

- Kesikli Fourier dönüşümü kullanımı (Marton, M.,2001)
- Karmaşık Wavelet paketlerinin kullanımı (Gautier, M., vd., 2006)
- Hibrit-taşıyıcı sistem kullanımı (Wang, K., vd., 2012)
- Altıgen çok taşıyıcı haberleşme için SINR'yi maksimize eden alıcı mimarisi kullanımı (Xu, K., vd., 2013)
- CP-OFDM ile OFDM/OQAM kullanımı (Du, J., vd., 2007).

2013 yılına gelindiğinde ise araç-arac haberleşmesi kapsamında geniş bantlı kanal modellemesi ve taşıyıcılar arası girişim problemlerinin elimine edilmesine yönelik normal şekillendirilmiş geometri tabanlı stokastik bir model önerilmektedir (Cheng, X., vd., 2013).

WSSUS (Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering) hareketli haberleşme kanalındaki darbe şekillendirme problemini çok taşıyıcı sistemler bazında ele almaktadır (Jung, P., vd., 2007).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Sinyalizasyon altyapısı kullanılmadan yol araçlarının bir sistem tarafından kontrol altına alınması; yol bakım/onarım çalışmalarında görevlendirilmiş personel ve yol araçlarının can ve mal güvenliğinin sağlanması için demiryolu yol araçları için arasında en az 500 m. mesafeden veriyi kriptolayarak aktarabilecek, kullanılacağı platformun boyut isteklerine uygun, yerleştirileceği platform tarafından enerji tüketimi karşılanabilen (mümkün olduğunca az enerji ihtiyacı duyacak), güvenilir, komuta kontrol ve iletişim amaçlı olarak sistemlerin mobil kullanımına izin veren, mümkün olduğunca tak-çıkarmetodu ile çalışacak, konuyla ilgili standartlara uyumlu bir yaklaşım algılama ve uyarı sisteminin üretim prototipi geliştirilmiştir.

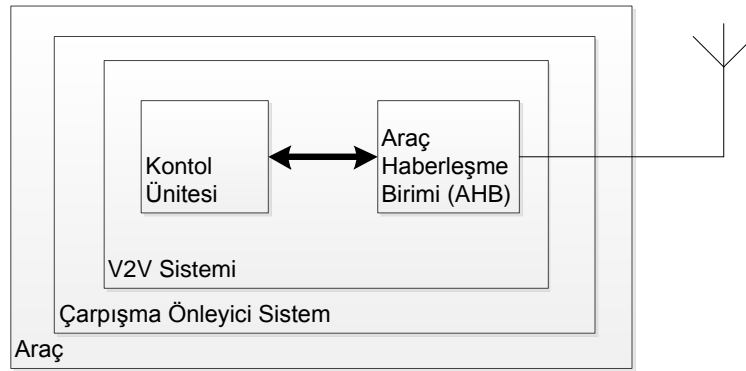
3.1. Proje Çalışmaları ve V2V Sistemi

Proje kapsamında geliştirilecek olan Araç-Araç (V2V) Haberleşme Birimi mevcut aracın ID, GPS konum, hız, ivme, yön, vb. verilerini RF ortam vasıtasıyla diğer Araç Haberleşme Birimlerine iletimini sağlamaktadır. Dağlık, tünel vb. bölgeler dahil olmak üzere sinyal alma/yayma mesafesi en az 500 metre olacak şekilde tasarım gerçekleştirilmiştir. Araç Haberleşme Birimi (AHB) mimarisinin oluşumuna yön veren ve Proje Yürütücüsü Kurum/Kuruluş tarafından gerçekleştirilmesi istenen teknik istekler aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

- Kullanılacak RF frekansının genel kullanıma serbest olması ve çıkış gücünün KET yönetmeliği tarafından belirlenen değer aralıklarında olması
- Platform tarafından enerji ihtiyacının karşılanabilir olması
- Proje kapsamında belirlenen standartlar ile uyumlu olması
- 500 m mesafeden sinyal alma ve gönderme kabiliyetine sahip olması
- 0-120 km/s hızları arası veri iletimi yapabilmesi ve Doppler kaymasına karşı dayanıklı olması
- Yakın gerçek zamanlı veri iletimine olanak sağlaması
- Şifleme metodu aracılığı ile veri güvenliğinin sağlanması
- Veri paylaşımı için Ethernet arayüzünün bulunması

- Değiştirilebilir merkez frekansına sahip olması
- Ayarlanabilir çıkış gücüne sahip olması

Projede araç üzerinde bulunan Çarpışma Önleyici Sistemin alt sistemi olan V2V modülü Kontrol Ünitesi ve Araç Haberleşme Birimlerinden oluşmaktadır. V2V Modülü genel blok diyagramı Şekil 3.1 ile verilmektedir.



Şekil 3.1 V2V modülü genel blok diyagramı

3.1.1. Kontrol ünitesi ve verilerin işlenmesi

Şekil 3.1 ile verilen Kontrol Ünitesi AHB'ye gönderilecek paketlerin üretiminden ve AHB'nin kontöründen sorumludur. V2V Haberleşme Sistemi her 200 ms'de 27 bayt'lık paketlerin alınması ve gönderilmesinden sorumludur.

3.1.2. RF alıcı-verici birimlerinin incelenmesi

AHB ise MAC tabanlı kontrol işleminden ve araçlar arası haberleşme kanalının açılmasından sorumludur. AHB, V2V Haberleşme Sistemini gerçeklemek için IEEE 802.11b WLAN teknolojisine uygun olarak seçilmiştir. AHB kapsamında seçilen alıcı-verici biriminin temel özellikleri şöyledir:

AHB için çalışma biçimini tanımlayan kablosuz modunda Access Point (AP) ve Station kullanılmıştır. AP modunda çalışan birim 802.11 Access Point olarak çalışırken

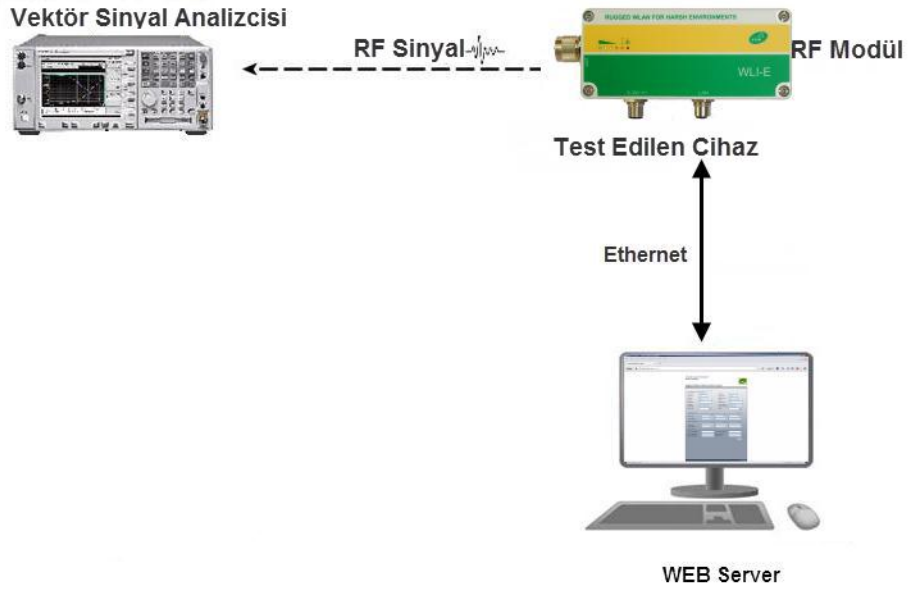
Station modunda çalışan birim erişim imkanı olan ve daha önceden tanımlanmış AP'ye bağlanmaktadır.

AHB kapsamında 20 MHz'lik bant genişliğine sahip ve 0 dBm ile 20 dBm arasında ayarlanabilir çıkış gücüne sahip birimler kullanılmıştır. Projede maksimum menzilden veri aktarımını sağlamak amacı ile 20 dBm çıkış gücü kullanılmıştır.

Station çalışma modunda gösterilen alıcı ve verici veri hızları o anda kullanılmakta olan IEEE 802.11 veri hızını yansıtmaktadır. AHB IEEE 802.11 standardına göre 1, 2, 5.5 ve 11 Mbps seçilebilir veri hızlarına sahiptir. Alıcı sinyal seviyesinin yükselmesi ile daha yüksek veri hızları seçilebilir ve bu doğrultuda veri iletimi doğru orantılı olarak artmaktadır.

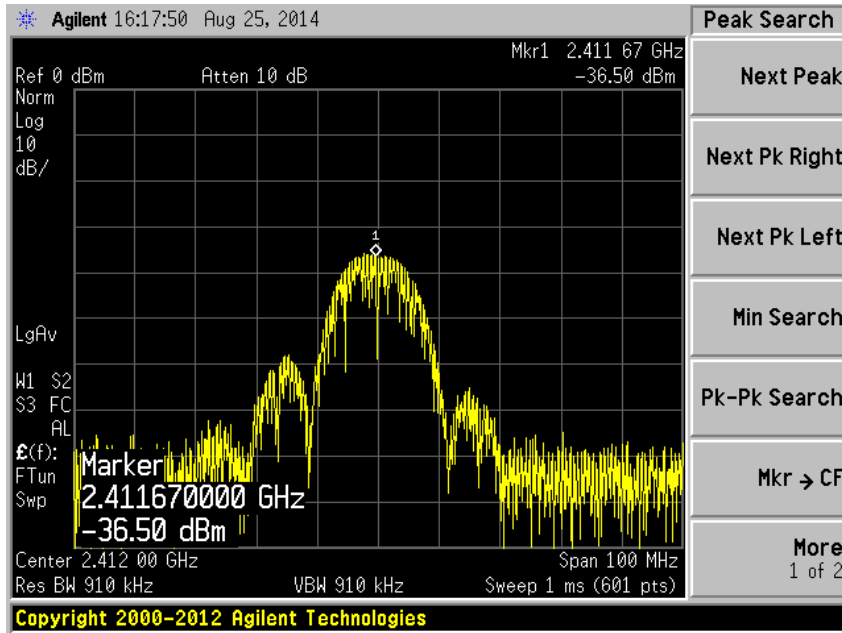
AHB kapsamında seçilen birimlerin 2.4 ve 5.8 GHz frekans opsiyonları bulunmaktadır. Ülkemizdeki KET yönetmeliği gereğince 2.4 GHz frekans bandının ISM bandı olması sebebi ile çalışma frekansı olarak 2.4 GHz seçilmiştir. AHB çalışma frekansı 2412 – 2472 MHz frekans aralığında çalışabilmektedir.

AHB'nin frekans spektrumu ve çıkış gücü doğrulamaları kapsamında laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2. ile verildiği üzere laboratuvar testleri esnasında vektör sinyal analiz cihazı, RF modüller ve üzerinde RF modül üzerindeki WEB server uygulamasına bağlı bilgisayar (PC) kullanılmıştır. Testler sırasında 30 dB sinyal zayıflatıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Laboratuvar test kurulumu

Gerçekleştirilen testler sırasında AHB çıkış sinyali 2412 ve 2472 MHz frekans aralığında 5 MHz'lik aralıklar ile yer alan 12 kanal vektör sinyal ölçüm cihazı ile doğrulanmıştır. AHB çıkış sinyali güç ölçümleri kapsamında ise maksimum 20 dB ve minimum 0 dB çıkış sinyalleri gözlemlenmiştir. AHB 2412 MHz merkez frekansındaki IEEE 802.11 ile uyumlu çıkış sinyali Şekil 3.3. ile verilmektedir.



Şekil 3.3. IEEE 802.11 dalga formu

3.1.3. Kapsama analizleri ve anten seçimi

Laboratuvar testleri kapsamında AHB çıkış sinyallerinin doğrulanmasının ardından V2V Sistemi'nin doğrulanması için kapsama analizleri ve performans testleri gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen saha testlerinde paket kayıpları, menzil ve hareketlilik kıstaslarına göre V2V Sistemi değerlendirilmiştir.

Dış ortam testleri sırasında 2.4 – 2.5 GHz frekans aralığında çalışan düşey polarize, 15 dBi kazanç değerine sahip, yatayda 360° ve düşeyde 6° hüzme genişliğine sahip antenler kullanılmıştır.

İki araçla yapılan menzil ve performans testleri her iki aracın durağan konumda olması, sadece bir aracın hareketli olması ve her iki aracında hareketli olması koşullarında kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. V2V alt sistemiyle birlikte entegre edilen Araç Algılama Sistemi (AAS) Şekil 3.4. ile verilmektedir.



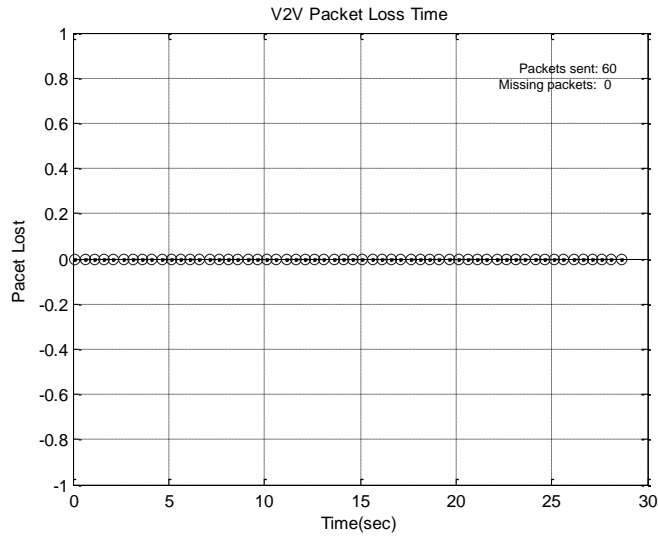
Şekil 3.4. Test araçları

Performans Testleri sırasında Kontrol Ünitesi tarafından oluşturulan 27 baytlık veri paketleri 500 ms'lik periyotlarla AHB üzerinden gönderilmiştir. Testler sırasında en az 500 metrelik parkur kullanılmıştır. Test ortamı kuşbakışı görünümü Şekil 3.5. ile verilmektedir.



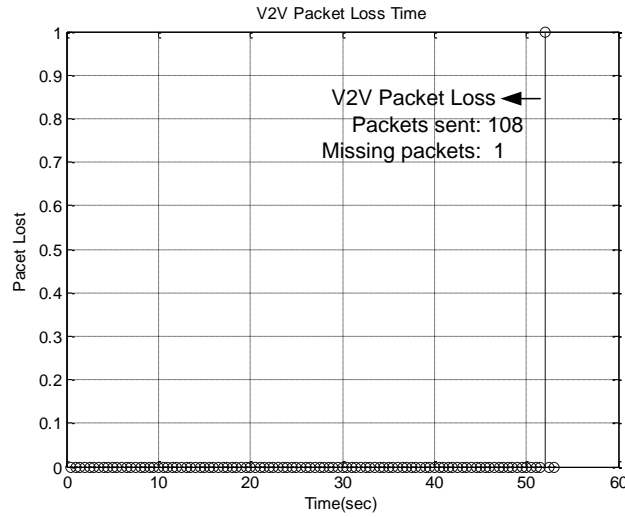
Şekil 3.5. Test ortamı

Menzil testleri gerçekleştirilirken her bir 100 metrelik noktada araçlar durdurularak paket aktarımı yapılmıştır. Her iki araç durağan konumda iken yapılan testlerde 550 m mesafeye kadar paket kaybı gözlemlenmemiştir. Şekil 3.6. ile 400 m mesafede paket kayıplarının zaman ekseninde gösterimi verilmektedir.



Şekil 3.6. 400 m mesafe her iki aracın da durağan konumda olduğu paket testi sonuçları

Hareketli platform testleri ise araçların ortalama hızlarının 20 Km/s, 40 Km/s ve 60 Km/s olduğu durumlarda gerçekleştirilmiştir. 0 metreden 500 metreye kadar araçların ortalama 60 Km/s hızla seyrettiği testte paket kayıplarını gösteren grafik Şekil 3.7. ile verilmektedir.



Şekil 3.7. 0-500 m ortalama 60 km/s hızla hareketli platform paket testi sonuçları

AHB ile gerçekleştirilen saha testleri sonucunda 550 metreden sonra paket ve link kayıpları gözlemlenmiştir. 550 metre menzil sınırı içerisinde araçlar durağan konumda iken paket ve link kaybı gözlenmemiştir. Tek bir aracın ve her iki aracın da hareketli olduğu performans testlerinde ise %2 ile %13 oranları arasında değişen paket kayıpları gözlemlenmiştir (Özdemir, Ö., vd., 2016).

3.2. Sistem Geliştirme ve Uygulama

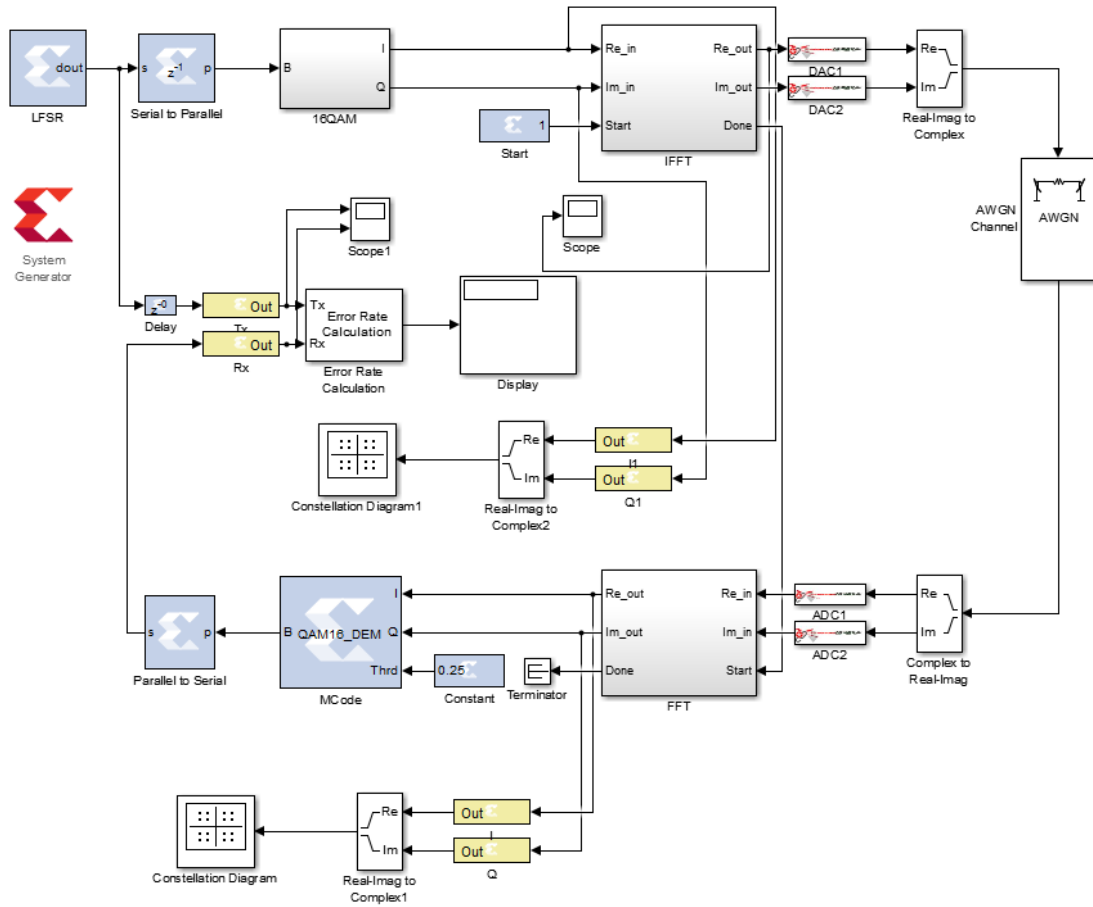
Ülkemizde henüz V2V modülü olarak hazır bir ürün olmamasına karşılık son yıllarda bu sektörde çalışan firmalar, üniversiteler ve otorite merkezlerince standardizasyon çalışmalarına başlanmıştır. Özellikle TÜBİTAK tarafından öncelikli alan kapsamında değerlendirilmekte olan V2V modülü geliştirme çalışmalarına pek çok proje başvurusu yapılmaktadır.

Araç-araç Haberleşmesi ve benzer uygulamalarda kullanılmak üzere sistem geliştirilmesi ele alındığında yurtdışındaki mevcut sistemler incelenmiştir. Bu proje kapsamında OFDM tabanlı bir dalga formu üzerinde sistem geliştirme çalışmalarına başlanmıştır.

Bu bölüm ile OFDM tabanlı basit bir dalga formu geliştirme çalışması yapılmıştır. Benzetimi gerçekleştirilen sistemde seyir halindeki araçların hızlarının artması ile

karşılaşılabilecek kanal etkileri ile gözlemlenmiş; sistem tasarımının bu sonuçlar eşliğinde düzenlenmesi için çözüm önerileri ise Bölüm 4 ile sunulmaktadır.

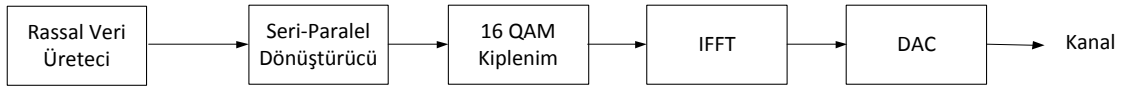
Yazılım Tabanlı Radyo mimarilerinde FPGA üzerinde OFDM tabanlı dalga formu geliştirme çalışmaları ve alıcı ve verici hatları için kullanılan temel bloklar ve işlevlerine aşağıda yer verilmektedir. OFDM tabanlı dalga formu tasarımı Şekil 3.8. ile verilmektedir.



Şekil 3.8. OFDM tabanlı dalga formu

3.2.1. Verici hattı

OFDM tabanlı dalga formu verici hattı rassal veri üretici, seri-paralel dönüştürücü, 16 QAM kiplenim, IFFT ve DAC bloklarından oluşmaktadır. Verici hattı blok diyagramı Şekil 3.9. ile verilmektedir.



Şekil 3.9. Verici hattı blok diyagramı

3.2.1.1. Rassal veri üretici

Doğrusal kaydırma geri beslemeli register (LSFR-Linear Shift Feedback Register) bloğu rassal veri üretici uygulaması için kullanılmaktadır. Bu blok tercihe göre Galois ve Fibonacci serilerine uygun XOR ya da XNOR kapılarının geri besleme olarak kullanılması ile rassal değer üretilmesinde kullanılmaktadır. Giriş ve çıkış portları ihtiyaca göre seri ya da paralel olarak tanımlanabilmektedir. LSFR blok diyagramı Şekil 3.10. ile verilmektedir.



Şekil 3.10. LSFR blok diyagramı

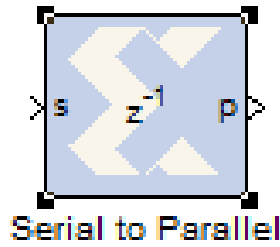
LSFR bloğuna ait arayüz bilgileri Çizelge 3.1. ile verilmektedir.

Çizelge 3.1. LSFR bloğu arayüzü

Port Adı	Port Tanımlaması	Port Tipi
Din	Yeniden yüklenebilir seed için veri girişi	Opsiyonel seri ya da paralel giriş
Load	Din için yükleme sinyali	Opsiyonel boolean girişi
Rst	Reset sinyali	Opsiyonel boolean girişi
En	Enable sinyali	Opsiyonel boolean girişi
Dout	Veri çıkışı	Gerekli seri ya da paralel çıkış

3.2.1.2. Seri paralel dönüştürücü

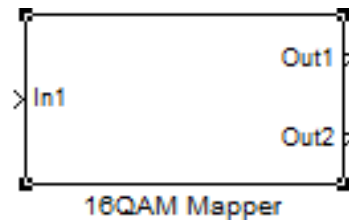
Seri Paralel Dönüştürücü bloğu kapsamında seri arayüzden alınan en düşük öncelikli bit (LSB) referans alınarak “işaretsiz” olarak 4 bitlik paralel veri olarak çıkışa verilmektedir. Bu dönüşüm sırasında 1 saat döngüsü gecikme yaşanmaktadır. Seri Paralel Dönüştürücü’ye ait blok diyagram Şekil 3.11. ile verilmektedir.



Şekil 3.11. Seri paralel dönüştürücü blok diyagramı

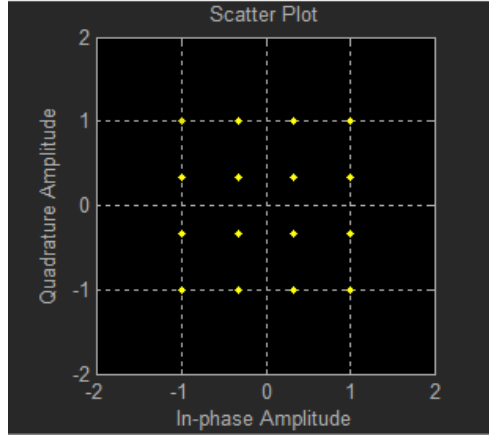
3.2.1.3. 16 QAM kiplenim

16 Dörtlü Genlik Kiplenimi (QAM-Quadrature Amplitude Modulator) Bloğu ile 4 bitlik paralel veriler kodlanarak In faz ve Quadrature faz sinyalleri olmak üzere iki çıkıştan verilmektedir. 16 QAM kiplenim bloğu Şekil 3.12. ile verilmektedir.



Şekil 3.12. 16 QAM kiplenim

Gray kodlama yöntemine göre kodlanmış 16 QAM Takımyıldız diyagramı Şekil 3.13. ile verilmektedir.



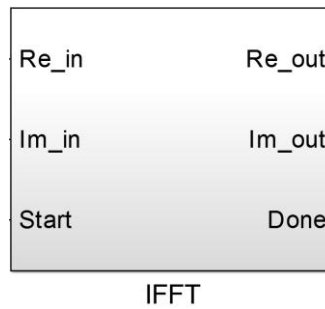
Şekil 3.13. 16 QAM takımyıldız diyagramı

3.2.1.4. Ters Fourier dönüşümü

Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) bloğu Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) işlemini gerçekleştiren bir algoritma kullanmaktadır. Dönüşüm sırasında Cooley-Tukey zamanda ve frekansta azaltma algoritması kullanılmaktadır. IFFT'nin genel formülü 3.1 ile verilmektedir.

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{jnk2\pi/N} \quad n = 0, \dots, N-1 \quad (3.1)$$

Formülde kullanılan örnekleme boyutları 2'nin pozitif tam sayı katları olarak ele alınmaktadır. N dönüşüm uzunluğunu j ise -1'in karekökünü ifade etmektedir. IFFT bloğu Şekil 3.14. ile verilmektedir.



Şekil 3.14. Ters Fourier dönüşüm bloğu

IFFT bloğuna ait arayüz bilgileri Çizelge 3.2. ile verilmektedir.

Çizelge 3.2. IFFT bloğu arayüzü

Port Adı	Port Tanımlaması	Port Tipi
Re_im	Giriş veri akışının reel bileşeni	Paralel giriş
Re_im	Giriş veri akışının imajiner bileşeni	Paralel giriş
Start	Her bir veri çerçevesinin başlangıcını işaret eder.	Boolean girişi
Re_out	Çıkış veri akışının reel bileşeni	Paralel çıkış
Im_out	Çıkış veri akışının imajiner bileşeni	Paralel çıkış
Done	İşlemden geçmiş veri çerçevesinin çıkış olarak verilmeye hazır olduğunu işaret eder.	Boolean çıkış

3.2.1.5. Sayısal-analog dönüştürücü

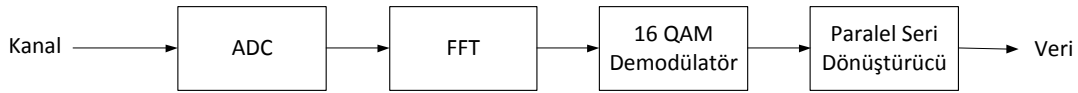
Sayısal-Analog dönüştürücü (DAC) bloğu dalga formu çıkışına kanal etkilerinin eklenebilmesi amacı ile donanım benzetimi olarak eklenmiştir. Her bir kanal için ayrı ayrı olmak üzere iki adet DAC (DAC1 ve DAC2) kullanılmıştır. Eş zamanlı çalışan DAC blokları 14 bitlik işaretli sinyal ile sürülmektedir. Sayısal-Analog dönüştürücü bloğu Şekil 3.15. ile verilmektedir.



Şekil 3.15. Sayısal-analog dönüştürücü bloğu

3.2.2. Alıcı hattı

OFDM tabanlı dalga formu alıcı hattı ADC, FFT, 16 QAM kip çözücü ve paralel seri dönüştürücü bloklarından oluşmaktadır. Alıcı hattı blok diyagramı Şekil 3.16. ile verilmektedir.



Şekil 3.16. Alıcı hattı blok diyagramı

3.2.2.1. Analog-sayısal dönüştürücü

Analog-Sayısal dönüştürücü (ADC) bloğu dalga formu çıkışına kanal etkilerinin eklenebilmesi amacı ile donanım benzetimi olarak eklenmiştir. Her bir kanal için ayrı ayrı olmak üzere iki adet ADC (ADC1 ve ADC2) kullanılmıştır. Eş zamanlı çalışan ADC blokları 14 bitlik işaretli sinyal ile sürülmektedir. Analog-Sayısal dönüştürücü bloğu Şekil 3.17. ile verilmektedir.



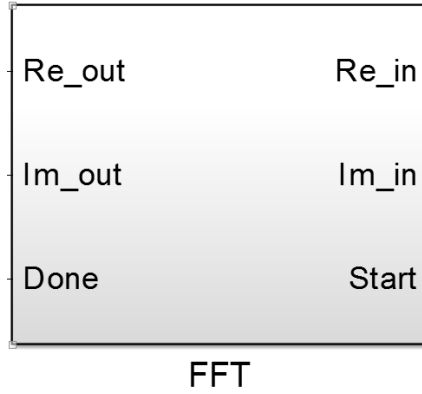
Şekil 3.17. Analog-sayısal dönüştürücü bloğu

3.2.2.2. Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü (FFT-Fast Fourier Transform) bloğu Discrete Fourier Transform (DFT) işlemini gerçekleştiren bir algoritma kullanmaktadır. Dönüşüm sırasında Cooley-Tukey zamanda ve frekansta azaltma algoritması kullanılmaktadır. FFT'nin genel formülü 3.2 ile verilmektedir.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-jnk2\pi/N} \quad k = 0, \dots, N - 1 \quad (3.2)$$

Formülde kullanılan örnekleme boyutları 2'nin pozitif tam sayı katları olarak ele alınmaktadır. N dönüşüm uzunluğunu j ise -1'in karekökünü ifade etmektedir. FFT bloğu Şekil 3.18. ile; FFT bloğuna ait arayüz bilgileri Çizelge 3.3. ile verilmektedir.



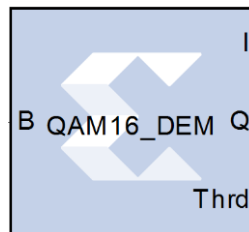
Şekil 3.18. Fourier dönüşüm bloğu

Çizelge 3.3. FFT bloğu arayüzü

Port Adı	Port Tanımlaması	Port Tipi
Re_in	Giriş veri akışının reel bileşeni	Paralel giriş
Im_in	Giriş veri akışının imajiner bileşeni	Paralel giriş
Start	Her bir veri çerçevesinin başlangıcını işaret eder.	Boolean girişi
Re_out	Çıkış veri akışının reel bileşeni	Paralel çıkış
Im_out	Çıkış veri akışının imajiner bileşeni	Paralel çıkış
Done	İşlemden geçmiş veri çerçevesinin çıkış olarak verilmeye hazır olduğunu işaret eder.	Boolean çıkış

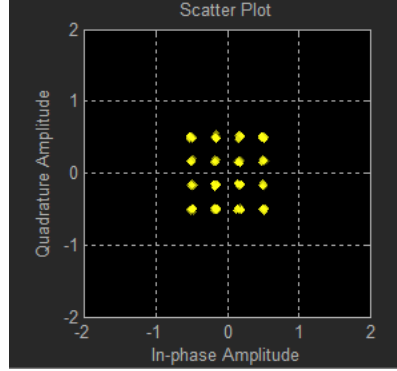
3.2.2.3. 16 QAM kip çözücü

16 QAM kip çözücü Bloğu ile In faz ve Quadrature faz sinyalleri olmak üzere iki girişten alınan sinyaller eşik değeri sinyali ile eşitlenerek 4 bitlik paralel veriler şeklinde kodlanarak çıkışa verilmektedir. 16 QAM kip çözücü bloğu Şekil 3.19. ile verilmektedir.



Şekil 3.19. 16 QAM kip çözücü

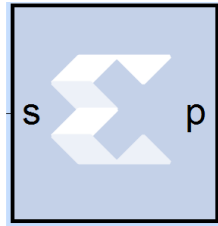
Gray kodlama yöntemine göre kodlanmış 16 QAM kip çözücü takımı yıldız diyagramı Şekil 3.20. ile verilmektedir.



Şekil 3.20. 16 QAM kip çözücü takımı yıldız diyagramı

3.2.2.4. Paralel seri dönüştürücü

Paralel Seri Dönüştürücü bloğu kapsamında paralel arayüzden alınan 4 bitlik paralel veriler seri veri olarak çıkışa verilmektedir. Bu dönüşüm sırasında 1 saat döngüsü gecikme yaşanmaktadır. Paralel Seri Dönüştürücü 'ye ait blok diyagram Şekil 3.21. ile verilmektedir.

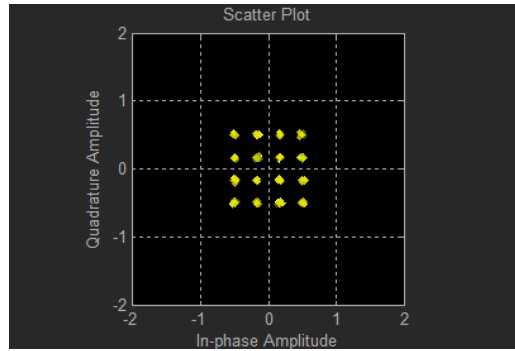


Parallel to Serial

Şekil 3.21. Paralel seri dönüştürücü blok diyagramı

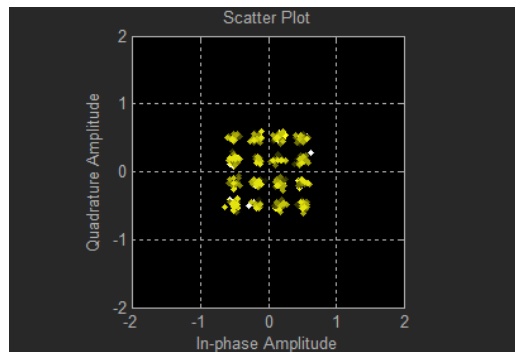
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Verici tarafında 1 Watt'lık sinyal çıkışı referans alındığında 39 dB SNR seviyesinde AWGN kanal etkisi eklenmiş takımyıldız diyagram çıktısı Şekil 4.1 ile verilmektedir. Benzetim sonuçlarına göre bu durumda hiçbir paket ya da veri kaybı gözlenmemiştir.



Şekil 4.1 39 dB SNR seviyesinde AWGN kanal etkisi

Verinin kanalda iletilmesi esnasında gürültünün sinyal seviyesine oranı artması durumunda veri ve paket kayıpları gözlenmektedir. Örneğin, 30 dB SNR seviyesi için AWGN kanal etkisine maruz bırakılmış sistemin takımyıldız diyagramı Şekil 4.2 ile verilmektedir.



Şekil 4.2 30 dB SNR seviyesinde AWGN kanal etkisi

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 ile verilen takımyıldız diyagramlar karşılaştırıldığında gürültü seviyesindeki artışın 16 QAM kip çözücü üzerindeki karar verme mekanizmasına olan etkisi gözlemlenmektedir. Bu durumda % 0.8 veri kaybı olduğu kayıt altına alınmıştır.

AWGN kanalda veri kaybı oranlarının SNR seviyesine göre dağılımları Çizelge 4.1 ile verilmektedir.

Çizelge 4.1 AWGN kanalda SNR seviyesine göre veri kaybı oranları

SNR Seviyesi (dB)	Veri Kaybı Oranı (%)
39	0
33	0.1
30	0.8
27	2.4
24	5.2
21	9.3
18	14.7
15	21.8
12	30.8
9	40.0
6	47.2

Önerilen V2V sistem modelinde alıcı hassasiyeti ve güvenilir veri aktarımı göz önünde bulundurulduğunda 6 dB SNR seviyesine ulaşılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda mevcut temel sistem modeline hata düzeltme algoritmaları, serpiştirici (interleaver) ve Nyquist filtre uygulamaları eklenmelidir. Ayrıca iyi bir alıcı hassasiyetine ulaşılmasında algoritmaların koşacağı donanımın önemi büyük olmakla birlikte RF ön uç devresinin de düşük NF (Noise Figure) değerine sahip olması gerekmektedir.

Yazılım Tabanlı Radyo mimarilerinde FPGA üzerinde OFDM tabanlı dalga formu geliştirme çalışmaları, temel bloklar ve işlevlerine Bölüm 3.2 ile yer verilmektedir. Ancak çok taşıyıcılı dalga formlarında performans ve istikrarını arttırmak için ilave tasarım kısıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bunlardan ilki semboller arası girişimin (ISI) engellenmesi adına çevrimsel önek (CP) kullanımıdır. CP süresinin kanal modelinde belirlenen gecikme yayılımında (delay spread) daha uzun ayarlaması ile semboller arası girişimin önüne geçilebilmektedir.

Benzer şekilde alıcı ve verici mimarilerinde taşıyıcılar arası alt boşlukların uyum bant genişliğinden daha dar olması ile eş fazlı alıcı verici birimleri arasında frekans düzleminde eşleştirme algoritmaları kullanılabilir.

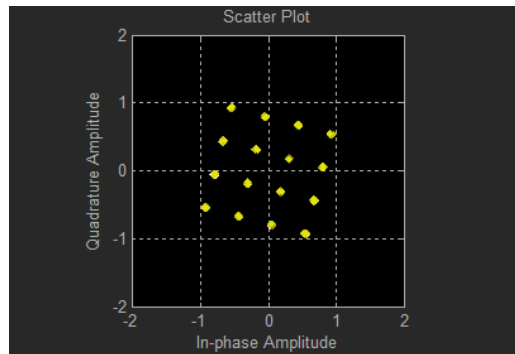
Bir diğer yöntem olarak alıcı mimarisinde eşleşme filtresi (match filter) uygulaması kullanılmasıdır. Eşleşme filtresi (match filter) çıkışının kök yükseltilmiş Cosinüs (Root Raised Cosine) darbe şekillendirici filtre için gerekli olması dışında sinyal gürültü oranının (SNR) maksimize edilmesinde de etkilidir.

Son olarak ve alıcı mimarilerinde veri bloklarının arasına bilinen pilot sembollerin eklenmesidir. Bu sayede alıcı mimarisinde kaba ve hassas eşleme işlemlerinden sonra pilot verileri üzerindeki değişim üzerinden kanal çıkarımı yapılarak veri eşleştirmesi gerçekleştirilebilmektedir.

Araç-araç haberleşme sistemi ele alındığında AWGN kanalda gürültü etkisinin yanı sıra Bölüm 2.4.3 ile verilmekte olan zaman ve frekans eksenlerindeki kanal etkilerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yüksek hızlı platformlarda DD kanal etkileri ve bu etkilere ait benzetim sonuçları irdelenmiştir.

DD kanal etkilerinin karmaşık temel bant sinyallere eklenebilmesi için MATLAB Simulink ortamında “Communication System Toolbox” klasörü içerisinde yer alan “Multipath Rayleigh Fading Channel” bloğu kullanılmıştır. Bu sayede 200 Hz Doppler kayması ve $1.2 \cdot 10^{-6}$ yol gecikmesi ile kanal modeli oluşturulmuştur.

DD kanal etkilerine maruz bırakılmış sistemin veri kaybı %38.2 olarak hesaplanırken takımyıldız diyagramı Şekil 4.3 ile verilmektedir.



Şekil 4.3 DD kanal etkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

OFDM tabanlı çok taşıyıcılı dalga formlarında çiftlerli ayırgan kanal etkilerinin yok edilmesine yönelik yapılan araştırmalar ve literatürdeki çözüm önerileri Bölüm 2.4.3.1. ile verilmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde darbe şekillendirici filtreler ve denkleştiricilerin kullanımı ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Üretilen çalışmaların teorik anlamda belirli bir düzeyde başarımların sunmasına rağmen; henüz uygulamaya dönüşmüş ve standartlarda yer almış bir çözüm önerisi türetilmemiştir.

Sonuç olarak 0508.STZ.2013-2 numaralı SANTEZ Projesi kapsamında Araç-Araç Haberleşme Sistemleri ve bu konudaki Standartlar incelenmiş; rafta hazır ticari V2V modülleri kullanılarak faal bir sistem geliştirilmiş; FPGA uygulamalarında kullanılmak üzere OFDM tabanlı dalga formu geliştirme çalışmaları yürütülmüş; tasarlanan bloklar üzerinde yüksek hareketlilikteki benzer sistemlerde karşılaşılan problemlerin benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen test ve benzetim sonuçları doğrultusunda her geçen gün kullanım alanları artmakta olan Araç-Araç Haberleşme Sistemlerine yönelik standardizasyon çalışmalma ve yüksek hareketlilikteki sistemlerin ihtiyaçlarını karşılayacak çiftlerli ayırgan kanal etkilerinin elimine edilmesine için teorik ve uygulamaya yönelik çözümlerin türetilmesine ağırlık verilmesi ihtiyacı bulunmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bhat, N.S., 2012. FPGA based DWT-IDWT implementation of OFDM on UWB Systems, International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS) – ISSN : 2249-0868 Foundation of Computer Science FCS, New York, USA Volume 2– No.7.
- Bilstrup, K., 2007. A Survey Regarding Wireless Communication Standards Intended for a High-Speed Vehicle Environment, Technical Report.
- Boeglen, H., Hilt, B., Lorenz, P., Ledy, J., Poussard, A-M., 2011. A survey of V2V channel modeling for VANET simulations, The 8th International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services - WONS2011, Italy.
- Calandriello, G., 2011. On the performance of secure vehicular communication systems, IEEE transactions on dependable and secure computing 8.6 : 898-912.
- Cheng, X., 2013. Wideband channel modeling and intercarrier interference cancellation for vehicle-to-vehicle communication systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 31.9 : 434-448.
- Das, S., Schniter, P., 2004. A new pulse shaped frequency division multiplexing technique for doubly dispersive channels, Signals, Systems and Computers, Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on. Vol. 1. IEEE.
- Das, S., Schniter, P., 2007. Max-SINR ISI/ICI-shaping multicarrier communication over the doubly dispersive channel, IEEE Transactions on Signal Processing 55.12 : 5782-5795.
- Dhar, S., 2011. An overview of V2V communication channel modeling, the proceedings of ISDMISC : 12-14.
- Du, J., Signell, S., 2007. Comparison of CP-OFDM and OFDM/OQAM in doubly dispersive channels, International Conference on Future Generation Communication Networking, Jeju Isl, SOUTH KOREA. DEC 06-08,. IEEE conference proceedings.
- Dulmage, J., 2006. A Case Study in Incremental Prototyping with Reconfigurable Hardware: DSRC Software-Defined Radio.
- Dutta, A., 2002. Reconfigurable OFDM Receiver for Next Generation Wireless Mesh, B.Tech. Kalyani University - India.
- Eichler, S., 2007. Performance evaluation of the IEEE 802.11 p WAVE communication standard, IEEE 66th Vehicular Technology Conference. IEEE.
- Farhang-Boroujeny, B., 2011. OFDM versus filter bank multicarrier, IEEE Signal Processing Magazine 28.3 : 92-112.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fernandes, P., Nunes, U., 2010. Platooning of autonomous vehicles with intervehicle communications in SUMO traffic simulator, Intelligent Transportation Systems (ITSC), 13th International IEEE Conference on. IEEE.
- Fifield, J.M., 2006. A Software Defined OFM Modulator.
- Gautier, M., Lienard, J., 2006. Performances of complex wavelet packet based multicarrier transmission through double dispersive channel, Proceedings of the 7th Nordic Signal Processing Symposium-NORSI. IEEE.
- Gutiérrez, F.M, 2009. Implementation of a Tx/Rx OFDM System in a FPGA, April.
- Han, F.M., Zhang, X.D., 2007. Hexagonal multicarrier modulation: A robust transmission scheme for time-frequency dispersive channels, IEEE Transactions on Signal Processing 55.5 : 1955-1961.
- Ivan, I., 2009. Physical layer performance analysis of V2V communications in high velocity context, Intelligent Transport Systems Telecommunications,(ITST), 9th International Conference on. IEEE.
- Iyer, A., 2008. Secure V2V communications: Performance impact of computational overheads, INFOCOM Workshops, IEEE.
- Jawhar, I., Mohamed, N., Zhang, L., 2010. Inter-vehicular communication systems, protocols and middleware, Networking, Architecture and Storage (NAS), IEEE Fifth International Conference on.
- Jerbi, M., Marlier, P., Senouci, S.M., 2007. Experimental assessment of V2V and I2V communications, 2007 IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems.
- Jung, P., Wunder, G., 2007. The WSSUS pulse design problem in multicarrier transmission." IEEE Transactions on Communications 55.10 : 1918-1928.
- Kenney, J.B., 2011. Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States, Proceedings of the IEEE 99.7 : 1162-1182.
- Khairnar, V., Pradhan, S., 2013. Simulation Based Evaluation of Highway Road Scenario between DSRC/802.11p MAC Protocol and STDMA for Vehicle-to-Vehicle Communication, Journal of Transportation Technologies, Vol. 3 No. 1, pp. 88-104.
- Kiokes, G., 2013. A Comparative Study of IEEE 802.11 p Physical Layer Coding Schemes and FPGA Implementation for Inter Vehicle Communications, Modern Traffic and Transportation Engineering Research 2.2 : 95-102.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kozek W., Molisch, A.F., 1998. Nonorthogonal pulse shapes for multicarrier communications in doubly dispersive channels, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1579-1589, Oct.
- Kui X., Xu, Y., Zhang D., Ma, W., 2013. On Max-SINR Receivers for HMT Systems Over a Doubly Dispersive Channel, *Vehicular Technology IEEE Transactions on*, vol. 62, pp. 2381-2387, ISSN 0018-9545.
- Liu, K., Kadous, T., Sayeed, A.M., 2004. Orthogonal time-frequency signaling over doubly dispersive channels, *IEEE Transactions on Information Theory* 50.11 : 2583-2603.
- Martone, M., 2001. A multicarrier system based on the fractional Fourier transform for time-frequency-selective channels, *IEEE Transactions on Communications* 49.6 : 1011-1020.
- Matolak, D.W., Sen, I., Xiong, W., 2006. Channel Modelling for V2V Communications, Proc. Third Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, pp. 1-7.
- Matolak, D.W., 2008. Channel modeling for vehicle-to-vehicle communications, *IEEE Communications Magazine* 46.5 : 76-83.
- Matz, G., 2006. Characterization and analysis of doubly dispersive MIMO channels, 2006 Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers.
- Matz, G., 2007. Analysis, optimization, and implementation of low-interference wireless multicarrier systems, *IEEE Transactions on Wireless Communications* 6.5 : 1921-1931.
- Morgan, Y.L., 2010. Managing DSRC and WAVE standards operations in a V2V scenario, *International Journal of Vehicular Technology* 2010.
- Özdemir, Ö., Kılıç, İ., Yazıcı, A., Özkan, K., 2016. A V2V System Module for Inter Vehicle Communication. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 850, pp. 16-22).
- Paier, A., 2010. Overview of vehicle-to-vehicle radio channel measurements for collision avoidance applications, *Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring)*, 2010 IEEE 71st.
- Papadimitratos, P., 2009. Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation, *IEEE Communications Magazine* 47.11 : 84-95.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pesel, R., Maslouh, O., 2012. Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET) applied to Intelligent Transport Systems (ITS).
- Sahin, A., Bala, E., Guvenc, I., Yang, R., Arslan, H., 2014. Partially overlapping tones for uncoordinated networks, *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, no. 9, pp. 3363–3375, Sep.
- Sahin, A., Guvenc, I., Arslan, H., 2014. A survey on multicarrier communications: Prototype filters, lattice structures, and implementation aspects, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16.3 : 1312-1338.
- Sassi, A., 2011. The impact of mobility on the performance of V2X communication, 2011 4th International Conference on Logistics.
- Schniter, P., 2003. A new approach to multicarrier pulse design for doubly-dispersive channels." *Proceedings of the annual allerton conference on communication control and computing*. Vol. 41. No. 2.
- Schniter, P., 2006. On doubly dispersive channel estimation for pilot-aided pulse-shaped multi-carrier modulation, 2006 40th Annual Conference on Information Sciences and Systems.
- Schniter, P., 2004. Low-complexity equalization of OFDM in doubly selective channels, *IEEE Transactions on Signal Processing* 52.4 : 1002-1011.
- Schniter, P., 2004. On the design of non-(bi) orthogonal pulse-shaped FDM for doubly-dispersive channels, *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings.(ICASSP'04)*. IEEE International Conference on. Vol. 3.
- Schniter, P., Liu, H., 2004. Iterative frequency-domain equalization for single-carrier systems in doubly-dispersive channels, *Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on*. Vol. 1.
- Sen, I., Matolak, D.W., 2008. Vehicle–vehicle channel models for the 5-GHz band, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 9.2 : 235-245.
- Strang, T., Hörste, M.M., Gu, X., 2006. A Railway Collision Avoidance System Exploiting Ad-hoc Inter-vehicle Communications and Galileo, in 13th World Congress on Intelligent Transportation Systems, London, UK.
- Strohmer, T., Beaver, S., 2003. Optimal OFDM design for time-frequency dispersive channels, *IEEE Transactions on Communications* 51.7 : 1111-1122.
- Taubock, G., 2010. Compressive estimation of doubly selective channels in multicarrier systems: Leakage effects and sparsity-enhancing processing, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing* 4.2 : 255-271.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Taubock, G., 2007. LSQR-based ICI equalization for multicarrier communications in strongly dispersive and highly mobile environments." 2007 IEEE 8th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications.
- Taubock, G., 2011. Low-complexity ICI/ISI equalization in doubly dispersive multicarrier systems using a decision-feedback LSQR algorithm, IEEE Transactions on Signal Processing 59.5 : 2432-2436.
- Taubock, G., Hlawatsch, F., 2008. A compressed sensing technique for OFDM channel estimation in mobile environments: Exploiting channel sparsity for reducing pilots, 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing.
- Trigui, I., Siala M., Boujemâa, H., 2007. Optimized pulse shaping for OFDM multi-user communications over doubly dispersive channels, Signal Processing and Its Applications, 2007. ISSPA 2007. 9th International Symposium.
- Tufan, H., 2014. Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye için bir AUS Mimarisi Önerisi.
- Wang, K., 2012. Performance analysis of hybrid carrier system with MMSE equalization over doubly-dispersive channels, IEEE Communications Letters 16.7 : 1048-1051.
- Weidong X., Huang, Y. Majhi, S., 2008. The Design of a Wireless Access for Vehicular Environment (WAVE) Prototype for Intelligent Transportation System (ITS) and Vehicular Infrastructure Integration (VII), Department of ECE, Michigan University, Vehicular Technology Conference, 2008. VTC-2008 Fall. 2008 IEEE 68th Volume, Issue, Sept. pp. 21-24.
- Willke, T.L., Tientrakool, P., Maxemchuk, N.F., 2009. A survey of inter-vehicle communication protocols and their applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials 11.2 : 3-20.
- Yangqing, H., Zhang W., Li, Y., Xiong, P., 2009. The Research of WAVE Architecture Based Vehicles to Vehicles Communication Technology of Intelligent Transport System, Department of Computer Science and Technology, School of Information Science, East China Normal University, 2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System, Dec. pp.19-20.
- Zhou, H., 2013. Design and FPGA Implementation of OFDM System with Channel Estimation and Synchronization.
- Zhu, J., Roy, S., 2003. MAC for dedicated short range communications in intelligent transport system, IEEE Communications Magazine 41.12 : 60-67.