

Tasarsız Taşıt Ağlarında Görünür Işık ile İletişim

Visible Light Communication in Vehicular Ad-Hoc Networks

Seyhan Uçar¹, Sinem Çöleri Ergen² ve Öznur Özkasap¹

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

²Elektrik, Elektronik Mühendisliği Bölümü

Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

{sucar, sergen, oozkasap}@ku.edu.tr

Özetçe —Gelişen otomobil endüstrisi ve kentleşme, taşıtları birbiri ile haberleşir hale getirmiş ve yakın şehirleri birbirleri ile bağlı, akıllı şehirlere dönüştürmüştür. Bunun sonucunda, ana amaç olarak trafik yoğunluğunu, trafik kazalarını, enerji israfını ve hava kirliliğini veri paketi dağıtımı ile azaltmayı hedefleyen Tasarsız Taşıt Ağları (VANET) önemli iletişim teknolojilerinden biri haline dönüşmüştür. Fakat, VANET radyo frekans yetersizliği problemi ile karşı karşıya olup, bu yetersizlik araştırmacıları alternatif teknolojiler aramaya itmiştir ve bu alternatif iletişim şekillerinden biri Görünür Işık ile İletişim (VLC) olmuştur. Bununla birlikte VLC, sürücülerini gece şartlarında tehdit eden göz kamaşması ve farların görüş açısı (FOV) dezavantajlarına sahiptir ve bu problemler deneysel olarak incelenmelidir. Bu çalışmamızda, öncelikle mevcut taşıtsal VLC sistemlerini inceleyip, var olan problemlerini detaylı bir şekilde ele almaktayız. Daha sonra deneysel olarak VLC dezavantajlarını inceleyip ve bu dezavantajların veri paketi teslim oranı, alıcı ünite alış gücü üzerine önemli etkileri olduğunu göstermekteyiz.

Anahtar Kelimeler—*taşıt, iletişim, tasarsız taşıt ağları, görünür ışık ile iletişim, taşıt far görüş açısı, ışık karartması.*

Abstract—Advances in auto-mobile industry and urbanization enable vehicles communicate with each other and link adjacent cities to form connected smart cities. As a result, vehicular ad-hoc networks (VANETs) have become one of the most relevant communication technologies that aim to reduce traffic congestion, traffic accidents, energy waste and pollution by providing data dissemination about events. However, VANET systems suffer from scarcity of radio frequency (RF) spectrum which pushes researchers to investigate alternative technologies such as visible light communication (VLC). On the other hand, vehicular VLC has drawbacks; sudden glare on drivers at night condition and angular limitation of headlight which are needed to be experimentally evaluated. In this paper, we first present latest concept of vehicular VLC and provide detailed explanation of VLC problems. We then demonstrate experimentally that VLC problems have crucial effect on data packet delivery ratio and received power strength.

Keywords—*vehicle, communication, vehicular ad-hoc network, visible light communication, vehicle headlight angle, dimming.*

I. GİRİŞ

Gelişen otomotiv sektörü ve kentleşme akıllı şehirler yaratmakla kalmamış, taşıtları da birbiri ile kablosuz haberleşebilir hale getirmiştir. Şu an dünya üzerinde 1 milyara yakın motorlu taşıt bulunmaktadır ve bu sayının gelecek 10

yıl içinde iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Kablosuz ağlardaki gelişmeler, çevreyi gözlemleyip karar veren, kendi başına seyredebilen taşıtları yapılabılır kılmıştır [1]. Bunların bir sonucu olarak, mobil tasarsız ağ yapılarından olup, taşıtdan taşıta (V2V), taşıtdan baz istasyonuna (V2I) haberleşmesini kapsayan VANET büyük bir önem kazanmıştır. VANET yapılarında asıl hedef, taşıtların birbiri ile iletişimini sağlayıp, Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS) ve Akıllı Trafik Sistemleri (ITF) oluşturmaktır. VANET iletişim mimarisi olarak kısa mesafe haberleşme protokolü IEEE 802.11p (DSRC) kullanmakta olup, 6 Mbps dan 27 Mbps kadar veri aktarım hızı sunmaktadır.

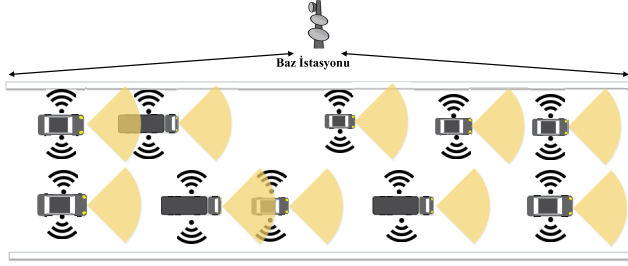
ITS ve ITF periyodik olarak var olan kazaları ve trafik durumunu sürücüler ile paylaşarak trafik kazalarını, trafik yoğunluğunu ve hava kirliliğini azaltmayı hedeflemektedir. Yol yapım çalışmalarına yapılan yatırımlar kısmen trafik yoğunluk problemini çöze de, yüksek yapım maliyeti ve yeterli alan bulunmaması, bu çözümü olursuz kılmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde mevcut trafik yoğunluğu her yıl 100 milyar maliyetinde yakıt ve zaman kaybına neden olmaktadır [2]. Ayrıca, büyük şehirlerde hava kirliliğinin ana nedenlerinden biri taşıtların çıkarmış olduğu zehirli gazlardır. Bunlar ve benzeri bir çok neden, ITS ve ITF yapılarının gelecek zaman zarfında hayatımızın önemli bir parçası olacağını göstermektedir. Güncel ITS ve ITF iletişim kanalı olarak DSRC, dördüncü nesil haberleşme (LTE) veya melez [3] yapılar kullanılmaktadır. Fakat, gelişen kablosuz iletişim sistemleri ve artan veri trafiği ITS ve ITF üzerinde radyo frekans yetersizliğine yol açmıştır. Radyo frekans kıtlığı araştırmacıları alternatif haberleşme teknolojileri aramaya itmiş ve bu alternatif iletişim şekillerinden biri VLC olmuştur.

VLC gönderilmek istenen veriyi kiplmekte ve var olan ışık hücrelerini çok hızlı bir şekilde açıp kapatarak karşı tarafa aktarmaktadır. VLC gönderici ünite olarak hızlı anahtarlama diyot içeren led lambaları (LED), alıcı ünite olarak fotodiyot [4], [5] veya kamera [6] kullanmakta olup, hem aydınlanma hem de iletişim sağlamaktadır. Kablosuz iletişim yöntemi olarak sağlık açısından zararsız olan, farklı bir frekansta çalışıp var olan elektromanyetik sistemlerden en az etkilenen VLC gelecek vadettmektedir. Taşıtlar arası iletişim yöntemlerinden birinin VLC olması kaçınılmazdır. Çünkü, var olan bir çok taşıt VLC gönderim ünitesi LED lambaları farlarında, fren lambalarında ve alıcı ünite olan kameraları park amaçlı bünyesinde barındırmaktadır. VLC gerek akademi, gerekse endüstri tarafından ilgi görmüş ve IEEE 802.15 grubu tarafından fiziksel ve ortam erişim tabakası protokolleri IEEE

Tablo I: VLC ve DSRC Önemli Özelliklerinin Karşılaştırılması

Özellik	VLC	DSRC
İletişim Senaryosu	Genellikle Doğrusal Görüş (LoS)	LoS ve Doğrusal olmayan Görüş (NLoS)
İletim Alanı	Kısa Erim ve Yön Bağımsal	Uzun Erim ve Genellikle Tümyönlü
Gecikme Süresi	Çok Düşük	< 50 ms
Frekans Bandı	400 - 790 THz	5.8 - 5.9 GHz
Lisans	Ücretsiz	Gerekli
Kapsama Alanı	Dar	Geniş
Maliyet	Düşük	Yüksek
Hareketlilik Hassasiyeti	Orta	Yüksek
Hava Durumu Duyarlılık	Hassas	Dayanıklı
Ortam Işığı Hassasiyeti	Hassas	Etikilenmez

802.15.7 grup numarası altında standardize edilmiştir [7]. VLC sistemleri ile ITS ve ITF Şekil 1 halini almıştır. Her taşıt var olan bütünleşik sistemi ile V2V, V2I şeklinde haberleşebilecek, ön farlar ve arka lambalar aracılığı ile VLC gerçekleştirebilecektir. VLC ve DSRC önemli özelliklerinin karşılaştırılması Tablo I'de sunulmuştur. DSRC genellikle tüm yönlü, LoS ve NLoS senaryolarında, lisanslı frekans bandında yüksek hareketlilik hassasiyeti ile çalışmaktadır. Diğer bir taraftan VLC, yön bağımsal, 50-100 metre arası kısa mesafelerde, hava durumu ve ortam ışığına duyarlı bir şekilde çalışmaktadır.



Şekil 1: ITS ve ITF Sistem Yapısı

Taşıtsal VLC sistemleri literatürde bir çok çalışmada işlenmiş olup; kanal özellikleri [8]–[11], baz istasyonu hücre arası aktarım [12], iletişim gereksinimleri [13]–[18] ve DSRC ile melez yapılarda uygunluk [19]–[21] gibi amaçlar hedeflenmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda genel amaç daha çok veriyi karşı tarafa aktarmak odaklıdır. Fakat VLC dezavantajlarının başında FOV ve sürücülerin gece şartlarında tehdit eden göz kamaşması gelmektedir. Mevcut çalışmalarda, VLC sadece LoS açısına sahip olacak şekilde farzedilmiş ve FOV kaynaklı problemler ele alınmamıştır. Buna ek olarak, ışık şiddeti kaynaklı ani göz kamaşması çok önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ani göz kamaşması geçici körlüğe neden olmakta ve ulaşım emniyetini tehdit etmektedir. Ani göz kamaşmasını önlemek için ışık şiddeti düşürülmesi odaklı ışık karartma kullanılmaktadır. Mevcut taşıtlarda ışık şiddeti elle kumanda edilmekte olup, uzun ve kısa far olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Ani göz kamaşmasını önlemek için bir çok otomotiv ve LED üretici firma çalışmalar yapmakta olup [22], [23], otomatik karartma teknikleri önerilmiştir. Fakat, gerek FOV ve gerekse farklı ışık karartma düzeylerinin iletişim üzerindeki kötü etkisi yadsınamaz bir gerçektir. Farların alıcı üniteyi görmediği durumlarda karşı taraf ile iletişim kesilmekte, farklı ışık karartma düzeyleri sinyal gürültü oranını düşürmekte ve bit hata oranını artırmaktadır. Bu ve benzeri nedenler ile taşıtlar arası iletişimde FOV ve ışık karartma deneysel olarak test edilmeli, iletişim üzerine olan etkisi detaylı bir şekilde incelenmelidir.

Bu çalışmamızda, taşıtlar arası iletişimin görünür ışık ile yapıldığı, dış ortam koşullarını da hesaba katan deneysel

test sonuçlarına odaklanılmaktadır. Oluşturduğumuz dış ortam deney senaryosu ile farklı FOV ve farklı ışık karartma düzeylerinde veri toplayıp, taşıtlar arası iletişimde VLC sisteminin yararlarını ve dezavantajlarını ele almaktayız. Anlatım planımız şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm II'de kullanılmış olduğumuz deneysel düzenek detayları anlatılmaktadır, Bölüm III'te başarımlar ölçümü ele alınmaktadır. Bölüm IV'te süregiden çalışmamızdan bahsedilmekte ve Bölüm V'te var olan test sonuçları üzerinden sonuç değerlendirmesi yapılmaktadır.

II. DENEYSEL DÜZENEK

Taşıtlar arası VLC sistemi Şekil 2-(a)'da gösterildiği gibi test edilmiştir. Deneysel düzenek, ışık ile veri gönderimi için Li-1st [24] cihazı, Li-1st cihazına bağlı verici ünitesi (VU), fotodiyot bazlı alıcı ünitesi (AU) ve iki adet LED sis lambasından [25] oluşmaktadır. Çift simetrik sis LED lambaları, 36 cm yüksekliğinde ve aralarında 150 cm olacak şekilde tripodlara monte edilmiştir. Yapılan deneylerde otomobil sis lambalarının kullanılmasındaki sebep, sis lambalarının geniş FOV özelliği ve yansımalara karşı dayanıklı yapıya sahip olmasıdır. Taşıt bilgi ve duyu verilerini içeren 150 byte büyüklüğündeki paket iki taşıt arasında LED sis lambalarının bağlı olduğu Li-1st VU ile gönderilmektedir. VU kiplenim olarak vurum (darbe) genlik kiplenimi (PAM), hata doğrulama tekniği olarak Reed-Solomon kodlamasını kullanılmaktadır. Li-1st 4PAM ve mevcut diğer özellikleri ile 5Mbps'e kadar veri hızı sunmaktadır.

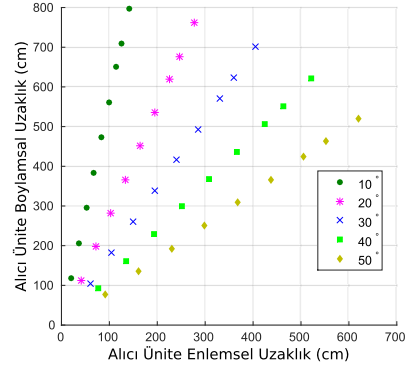
AU alış gücü OMM-6810B Optik Güç ölçer ile OMH-6703B Si güç başlığı kullanılarak ölçülmüştür. Gerek AU, gerekse VU bilgisayarlara bağlı olup gönderilen ve alınan paketler başarımlar ölçümü amaçlı kaydedilmiştir. Güneş ışığı etkisini en aza indirmek ve farklı ışık karartma düzeylerini incelemek amaçlı gece koşullarında deney gerçekleştirilmiştir. AU ve Si güç başlığı 36 cm yüksekliğinde ve öndeki aracın tampionuna tripodlar ile sabitlenmiştir. Yapılan deneylerde, arkadaki taşıtların öndeki taşıta LED sis lambaları ile kritik güvenlik paketi (örneğin şerit değişim bilgisi) gönderdiği farzedilmektedir. Bu sebeple VU sabit bırakılırken, AU gerek görüş açısı ve gerekse uzaklık olarak Şekil 2-(b)'deki gibi yer değiştirilmiştir. Işık karartmasının etkisini incelemek için LED sis lambaları farklı karartma düzeylerinde çalıştırılmıştır. Li-1st cihazı 0'dan 9'a kadar farklı karartma düzeylerinde çalışabilmekte olup, düzey (0) en az ışık şiddetini, düzey (9) ise en yüksek ışık şiddetini sağlamaktadır. Tüm yapılan deneylerde, iki taşıt arası 100 paket Li-1st VU ve AU arasında gönderilmiş ve tüm başarımlar ölçümleri gönderilen paketler üzerinden yapılmıştır.

III. BAŞARIM ÖLÇÜMÜ

Taşıtlar arası VLC başarımlar ölçümlemesi iki metrik üzerinden yapılmıştır. Bu metrikler, Veri Paketi Teslim Oranı



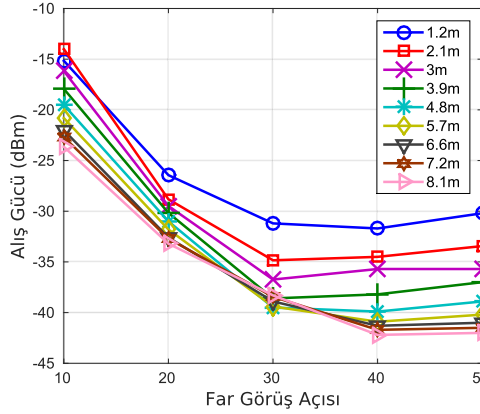
(a)



(b)

Şekil 2: (a) Taşıtsal VLC Deney Düzenegi (b) Alıcı Ünite Konumlandırma Bilgileri

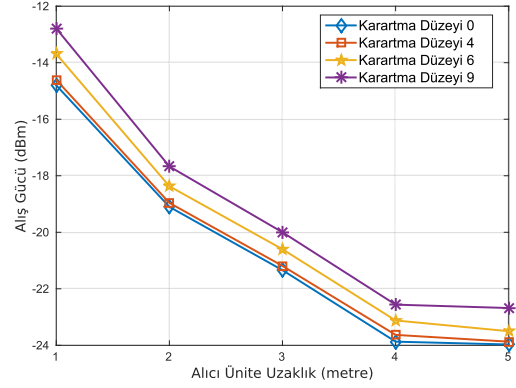
(VPTO) ve Li-1st AU alışı gücü olarak belirlenmiştir. VPTO, her deneyde gönderilmiş olan 100 güvenlik paketinden kaçının Li-1st AU tarafından başarı bir şekilde alındığını göstermektedir. Li-1st AU alışı gücü ise alıcı ünite tarafında OMH-6703B Si güç başlığı ile ölçülen değer şeklindedir. AU tarafı hissedilen güç, paketin doğru bir şekilde alınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Taşıt FOV etkisini incelemek için kullanılan sis LED lambaları Şekil 2-(b)'deki gibi açısız olarak yerleştirilmiş ve AU alışı gücü ölçümü gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, ışık karartma düzeyleri 0 (en düşük) ve 9 (en yüksek) arasında olacak şekilde değiştirilmiş ve VPTO, AU alışı gücü ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3: Farklı FOV AU Alışı Gücü Ölçümleri

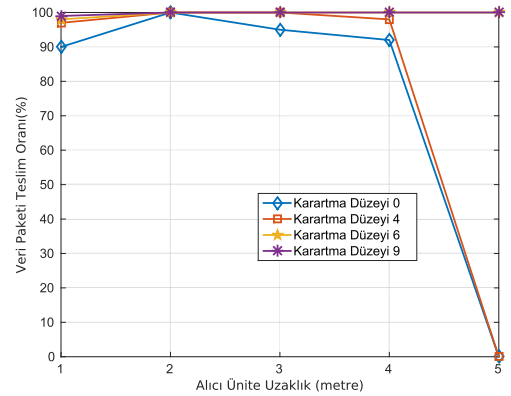
Farklı FOV ve AU uzaklık değerlerinde ölçülen AU alışı gücü değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan ölçümlerde, farklı FOV değerlerinin ölçülen AU gücü üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Farklı uzaklıklarda, farklı FOV değerleri VPTO olarak farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Örneğin AU alışı gücünün -22 dBm'den küçük olduğu senaryolarda veri aktarımı ışığın AU'ye düşmemesi nedeni ile gerçekleşmemiştir. Yapılan gözlem, FOV'nun taşıtsal VLC sistemlerinde veri aktarımını ve ölçülen AU alışı gücünü belirleyen önemli bir parametre olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, VLC sistemlerinin ITS ve ITF içinde üretim düzeyinde kullanılmadan önce FOV analizi yapılmalı, FOV'nun veri aktarımını kısıtladığı yerlerde alternatif veri aktarım yöntemleri önerilmelidir.

Karartma düzeylerinin taşıtlar arası VLC sistemindeki etkisi Şekil 4 ve Şekil 5'te incelenmiştir. Li-1st cihazının sağladığı



Şekil 4: Farklı Karartma Düzeyleri AU Alışı Gücü Ölçümleri

sistemsel yapı ile mevcut sis LED farları farklı karartma düzeylerinde çalıştırılmış olup, en düşük (0) ve en yüksek (9) karartma seviyeleri arasındaki fark gözle farkedilebilir şekildedir. Şekil 4 farklı karartma düzeylerinin AU alışı gücü üzerine etkisini incelemektedir. Yapılan ölçüm, ışık karartma seviyesinin azaldıkça, AU alışı gücü değerlerinin azaldığını göstermektedir.



Şekil 5: Farklı Karartma Düzeylerinde VPTO Ölçümleri

Karartma düzeylerinin VPTO üzerindeki etkisi ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Yapılan karartma-VPTO gözlemi, veri aktarımının ışık şiddetine bağlı olduğunu ortaya koymuş, düşük ışık şiddetlerinde veri aktarımı gerçekleştirilememiştir. Bunun dışında, aradaki uzaklığın yakın olduğu senaryolarda düşük karartma seviyelerinin ışık şiddeti yetersizliği sebebi ile veriyi AU'ye aktaramadığı gözlemlenmiş ve ölçülen

VPTO değeri yüksek ışık şiddeti senaryolarına karşın düşük çıkmıştır. Veri aktarımının kritik olduğu taşıt güvenlik uygulamalarında ışık şiddeti önemli bir parametredir. Otomotiv ve LED üretici firmaların güncel konularından olan ışık şiddeti ayarlama odaklı, otomatik karartma önemli bir çözüm yoludur. Fakat, üretim düzeyinde bu sistemlere geçilmeden önce, öndeki taşıtın VPTO metriğini de göz önüne alan VLC sistemleri önerilmelidir.

IV. SÜREGİDEN ÇALIŞMA

VLC sistemleri sağladığı faydalar sebebi ile ITS ve ITF için önem taşımaktadır. Yakın gelecekte elle kontrol edilen far sistemleri, yerini ışık düzeylerini otomatik ayarlayan sistemlere bırakacaktır. Devam eden çalışmamızda ışık karartmasını otomatik olarak yapan yazılımsal sistemler üzerine yoğunlaşmaktayız. Önerdiğimiz sistem melez bir yapıya sahip olup, mevcut iletişim gerek DSRC ve gerekse VLC üzerinden sağlanacaktır. Sürücülerini ani göz kamaşmasından kurtarmak için, ışık karartma düzeyi öndeki taşıtın diğer taşıtlarla DSRC üzerinden paylaştığı VPTO değeri karartı düzeyi belirlenmesine dahil edilecektir. VLC sisteminin veri aktarımında yetersiz kaldığı noktalarda DSRC alternatif olarak kullanılacak, taşıt FOV ve uzaklık değerleri ışık karartı düzeyi hesaplamasına dahil edilecektir.

V. VARGI

Mevcut ITS ve ITF için, VLC düşük maliyette iletişim olanağı sunmaktadır. VLC sistemleri sağladığı bir çok yarar ile gelecek iletişim teknolojileri arasında önemli bir yere sahip olacaktır. Gelişen otomotiv sektörü ile taşıtlar daha da akıllı hale gelecek, taşıt ön farları kendi kendilerine açılı ve ışık şiddet seviyesi ayarlayabileceklerdir. VLC üretim düzeyine geçirilmeden önce, FOV kaynaklı iletişim kesintileri, ışık şiddeti sebebiyle ani göz kamaşması problemi ele alınmalı deneysel olarak analiz edilmelidir. Bu çalışmamızda, taşıtlar arası iletişimin görünür ışıkla gerçekleştirildiği dış ortam deneylerine odaklanmış bulunmaktayız. FOV ve ışık karartma düzeyleri deneysel olarak ele alınmış ve VLC kısıtları analiz edilmiştir. Yapılan deneylerde toplanan sonuçlar, taşıt FOV değerlerinin ve ışık karartma düzeylerinin VLC üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın devamı olarak, otomatik FOV ve ışık karartma düzeyini ayarlayabilen, DSRC ile ilişkilendirilmiş melez bir sistem önerilmesi hedeflenmektedir.

VI. BİLGİLENDİRME

Yapmış olduğumuz çalışma Argela ve Türk Telekom tarafından 11315-07 hibe kodu ile desteklenmektedir. Sinem Çöleri Ergen ayrıca Bilim Akademisi Genç Bilim İnsanları Programı (BAGEP) desteğini ve Türkiye Bilim Akademisi (TÜBA) altında, Türkiye Bilimler Akademisi Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanlarını Ödüllendirme Programı (GEBİP) desteğini almaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Google Blog, @ONLINE. [Online]. Available: <https://goo.gl/hWU0V0>
- [2] Transport Topic, @ONLINE. [Online]. Available: <http://goo.gl/DsIUJO>
- [3] S. Ucar, S. Coleri Ergen, and O. Ozkasap, "Multi-Hop Cluster based IEEE 802.11p and LTE Hybrid Architecture for VANET Safety Message Dissemination," *Vehicular Technology, to appear in IEEE Transactions on*, 2015.
- [4] E. Pisek, S. Rajagopal, and S. Abu-Surra, "Gigabit rate mobile connectivity through visible light communication," in *Communications (ICC), IEEE International Conference on*, 2012.
- [5] S.-H. Yu, O. Shih, H.-M. Tsai, N. Wisitpongphan, and R. Roberts, "Smart automotive lighting for vehicle safety," *Communications Magazine, IEEE*, 2013.
- [6] T. Yamazato, I. Takai, H. Okada, T. Fujii, T. Yendo, S. Arai, M. Andoh, T. Harada, K. Yasutomi, K. Kagawa, and S. Kawahito, "Image-sensor-based visible light communication for automotive applications," *Communications Magazine, IEEE*, 2014.
- [7] S. Rajagopal, R. Roberts, and S.-K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support," *Communications Magazine, IEEE*, March 2012.
- [8] W. Viriyasitavat, S.-H. Yu, and H.-M. Tsai, "Short paper: Channel model for visible light communications using off-the-shelf scooter taillight," in *Vehicular Networking Conference (VNC), IEEE*, 2013.
- [9] D.-R. Kim, S.-H. Yang, H.-S. Kim, Y.-H. Son, and S.-K. Han, "Outdoor Visible Light Communication for inter-vehicle communication using Controller Area Network," in *Communications and Electronics (ICCE), Fourth International Conference on*, 2012.
- [10] A.-M. Cailean, B. Cagneau, L. Chassagne, S. Topsis, Y. Alayli, and M. Dimian, "Visible light communications cooperative architecture for the intelligent transportation system," in *Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), IEEE 20th Symposium on*, 2013.
- [11] P. Luo, Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, E. Bentley, A. Burton, and X. Tang, "Performance analysis of a car-to-car visible light communication system," *Appl. Opt.*, 2015.
- [12] N. Zhu, Z. Xu, Y. Wang, H. Zhuge, and J. Li, "Handover method in visible light communication between the moving vehicle and multiple LED streetlights," *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 2014.
- [13] C. B. Liu, B. Sadeghi, and E. W. Knightly, "Enabling Vehicular Visible Light Communication (V2LC) Networks," in *Proceedings of the Eighth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking*, ser. VANET. ACM, 2011.
- [14] M. Abualhoul, M. Marouf, O. Shagdar, and F. Nashashibi, "Platooning control using visible light communications: A feasibility study," in *Intelligent Transportation Systems - (ITSC), 16th International IEEE Conference on*, 2013.
- [15] J.-H. Yoo, R. Lee, J.-K. Oh, H.-W. Seo, J.-Y. Kim, H.-C. Kim, and S.-Y. Jung, "Demonstration of vehicular visible light communication based on LED headlamp," in *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Fifth International Conference on*, 2013.
- [16] M. Abualhoul, M. Marouf, O. Shag, and F. Nashashibi, "Enhancing the field of view limitation of Visible Light Communication-based platoon," in *Wireless Vehicular Communications (WiVeC), IEEE 6th International Symposium on*, 2014.
- [17] B. Turan, S. Ucar, S. Coleri Ergen, and O. Ozkasap, "Dual Channel Visible Light Communications for Enhanced Vehicular Connectivity," *Vehicular Networking Conference (VNC), IEEE*, 2015.
- [18] S. Ucar, B. Turan, S. Coleri Ergen, O. Ozkasap, and M. Ergen, "Dimming Support For Visible Light Communication in Intelligent Transportation and Traffic System," in *Urban Mobility and Intelligent Transportation System (UMITS), IEEE*, 2016.
- [19] J. Liu, P. Chan, D. Ng, E. Lo, and S. Shimamoto, "Hybrid visible light communications in Intelligent Transportation Systems with position based services," in *Globecom Workshops (GC Wkshps), IEEE*, 2012.
- [20] A.-M. Cailean, B. Cagneau, L. Chassagne, V. Popa, and M. Dimian, "A survey on the usage of DSRC and VLC in communication-based vehicle safety applications," in *Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), IEEE 21st Symposium on*, 2014.
- [21] S. Ishihara, R. V. Rabsatt, and M. Gerla, "Improving Reliability of Platooning Control Messages Using Radio and Visible Light Hybrid Communication," *Vehicular Networking Conference (VNC), IEEE*, 2015.
- [22] Mercedes-Benz Multibeam Headlight, @ONLINE. [Online]. Available: <https://goo.gl/Sn5LgI>
- [23] OSRAM Self-Dimming Headlights, @ONLINE. [Online]. Available: <http://goo.gl/G30wmo>
- [24] Li-1st, @ONLINE. [Online]. Available: <http://purelifi.com/li-fire/li-1st/>
- [25] LED Fog Light OSRAM, @ONLINE. [Online]. Available: <http://goo.gl/ty5zEC>