

Renk Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonunun Görünür Işık Haberleşme Sistemlerinde Başarımı

Emin TUĞCU*¹

¹Karedeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 61830, Trabzon

(Alınış / Received: 04.08.2019, Kabul / Accepted: 26.08.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 31.08.2019)

Anahtar Kelimeler

Renk kaydırmalı anahtarlama, Görünür ışık haberleşmesi, Bit hata oranı

Özet: Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, kullanıcı yoğunluğunun hızlı bir şekilde artması ve bilgiye daha hızlı erişim ihtiyaçlarından dolayı mobil haberleşmeye ayrılan radyo frekans bantları hızla dolmakta ve üst sınırlarına doğru yaklaşmaktadır. Radyo frekans bantlarıyla girişim oluşturmayan görünür ışık bandını kullanan görünür ışık haberleşmesi bu problemin çözümüne uygun bir aday olarak görülmektedir. Bu çalışmada, görünür ışık haberleşme sistemlerinde kullanılan renk kaydırmalı anahtarlama modülasyonunun başarımları analizleri yapılmıştır.

Performance of Color Shift Keying Modulation in Visible Light Communication Systems

Keywords

Color shift keying, Visible light communication, Bit error rate

Abstract: Due to the developments in information and communication technologies, the rapid increase in user density and the need for faster access to information, the radio frequency bands allocated to mobile communications are rapidly filling and approaching to their upper limits. Visible light communication using visible light bands that do not interfere with radio frequency bands is seen as a suitable candidate for the solution of this problem. In this study, performance analysis of color shift keying modulation used in visible light communication systems is performed.

1. Giriş

İletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı değişim ve gelişmeler yüksek hızlı kablosuz haberleşme sistemlerini günlük hayatımızın vazgeçilmezleri durumuna getirmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun artması, bilgiye daha hızlı erişim ihtiyacının artması veri trafiğinin artmasına neden olmuş ve bunun sonucunda mevcut olarak kullanılan radyo frekans bandında kapasite problemini oluşturmuştur. Bu problemin bir çözümü olarak radyo frekans bandıyla girişim oluşturmayan lisansız görünür ışık bandının kullanımı ciddi bir aday olarak görülmektedir. Günlük hayatımızın önemli ve vazgeçilmez bir parçası olan ışığın haberleşme sistemlerinde bilgi taşımak amacıyla kullanılması yenilikçi, düşük maliyetli ve enerji tüketimi açısından etkin bir haberleşme

teknolojisinin ortaya çıkması anlamına gelmektedir. Görünür ışık bandının haberleşme amacıyla kullanımını amaçlayan görünür ışık haberleşmesi (Visible Light Communication, VLC) yeni nesil haberleşme sistemleri için önemli bir tamamlayıcı olarak görülmektedir [1]. VLC sistemleri yüksek veri hızı avantajına sahip, sağlığa zararı olmayan, güvenli, maliyet etkin, lisansız çok büyük bant genişliğine sahip, sinyal izolasyon özelliğine sahip kompakt yapısı ile veri iletiminde daha az güç harcayan yeni nesil bir teknolojidir.

Günümüzde hükümetler enerji tüketiminin azaltılması konusunda önemli rol üstlenmektedirler. Örneğin US hükümeti yakın zamanda güç tüketimi yüksek olan akkor ve floresan lambaları verimli, ve güç tüketimi düşük olan LED'ler ile değiştirme kararı almıştır. Verimliliği yaklaşık olarak 15 lm/W olan

geleneksel 60–100 W akkor ışık ampülleri ile karşılaştırıldığında LED'ler 150 lm/W değerinde bir verimliliğe sahiptir [2]. Dünyadaki tüm aydınlatma kaynaklarının LED'ler ile değiştirilmesi durumunda aydınlatma için harcanan toplam küresel güç tüketiminin 50 % oranında azalacağı tahmin edilmektedir.

VLC sistemlerinde de son yıllarda aydınlatmada yaygın bir kullanım alanı olan LED'ler verici ve foto-dedektörler ise alıcı olarak kullanılır. LED'lerin geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre yüksek verimlilikleri aydınlatma alanında ilgi görmelerine neden olmaktadır. VLC sistemleri yoğunluk modülasyonu/doğrudan sezim (intensity modulation/direct detection, IM/DD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Veri iletimi LED'ler tarafından yayılan ışığın yoğunluğunun değiştirilmesi ile sağlanır. IM/DD tekniğinde bilginin taşınması için sadece ışık şiddetinin kullanılması, iletimde kullanılan optik sinyallerin, RF sistemlerinden farklı olarak, gerçel ve pozitif değerli olmasını gerektirmektedir.

VLC sistemlerinde, aydınlatma ile birlikte haberleşmenin de sağlanması, veri iletiminde kullanılan LED'ler tarafından yayılan ışığın beyaz ışık olmasını gerektirmektedir. Beyaz ışık LED'lerle temel olarak iki yöntem kullanılarak üretilmektedir. Birinci yöntemde beyaz ışığın üretimi mavi LED'lerin yüzeyinin fosfor ile kaplanmasıyla sağlanır. Bu yöntem basit olmasına rağmen haberleşme hızı açısından değerlendirildiğinde modülasyon hızı düşüktür ve fosforun oluşturduğu etkiden dolayı yaklaşık olarak 1 Mhz ile sınırlıdır [3]. Mavi filtreleme yöntemi kullanılarak bu LED'lerin iletim bant genişliği 20 Mhz seviyelerine çıkarılmıştır [4]. Ayrıca fosfor tabanlı LED'lerin aydınlatma verimliliği de düşüktür. İkinci yöntemde ise kırmızı, yeşil ve mavi ışık üreten üçlü kromatik LED'lerin (RGB LED) bir araya getirilmesiyle beyaz ışığın üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde görülebilir ışık spektrumu yüksek modülasyon hızlarına sahip üç ayrı renk bandına bölünmektedir. Her bir renk bandı Dalgaboyu Bölme Çoğullama (Wavelength Division Multiplexing, WDM) teknolojisi kullanılarak bağımsız olarak modüle edildiğinde yüksek veri hızlarına ulaşılmaktadır [5]. RGB bantlarının her biri bağımsız olarak modüle edildiğinde beyaz ışığın üretilmesinde problem oluşmaktadır [6]. Beyaz ışığın insan gözünü etkilemeyecek şekilde üretilmesi için IEEE 802.15.7 standardında [7] renk kaydırmalı anahtarlama (Color Shift Keying, CSK) VLC için tanımlanmış bir modülasyon türüdür.

Bu çalışmada CSK modülasyonunun AWGN kanallarda VLC sistemleri için BER başarımı incelenmiştir.

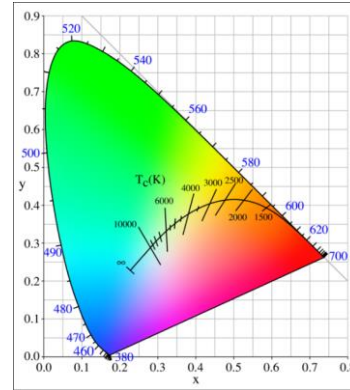
Çalışmanın sonraki kısmında ikinci bölümde CSK modülasyonu ve demodülasyonu incelenmiştir. Üçüncü bölümde CSK modülasyonu için AWGN kanallarda elde edilen BER başarımları sonuçları verilmiştir. Çalışmanın son bölümde ise elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. CSK Modülasyonu ve Demodülasyonu

CSK modülasyonunda veri iletimi için, kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) gibi çok renkli LED'ler tarafından yayılan görünür ışığın yoğunluğu modüle edilir. CSK modülasyonu CIE 1931 renk uzayında [8] uluslararası aydınlatma komisyonu tarafından tanımlanan x-y renk koordinatları kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi tanımlanan renk uzayında tüm renkler 2 boyutlu uzayda x-y koordinatları ile temsil edilirler. x ve y koordinatlı düzlem renklerin kromatik değerlerine karşılık gelmektedir. CSK sinyalinin üretilmesi için üç farklı ışık kaynağı kullanılmalıdır. CSK modülasyonunda işaret yıldız diyagramları üçgen yapıya sahiptir.

VLC sistemlerinde haberleşmenin yanında aydınlatmanın da sağlanmasından dolayı CSK sinyallerinde bazı kısıtlamalar vardır. Verici kısımda ilgili renk bantlarındaki LED'lerden yayılan optik gücün daima pozitif değerli olması gerektiğinden iletimi yapılacak olan işaret vektörüne $\mathbf{s} = [s_i, s_j, s_k]^T$ karşılık gelen güç değerleri $[P_i, P_j, P_k]^T$ vektörü aşağıda (1) ile verilen şartları sağlamalıdır.

$$P_i \geq 0, P_j \geq 0, P_k \geq 0 \quad (1)$$

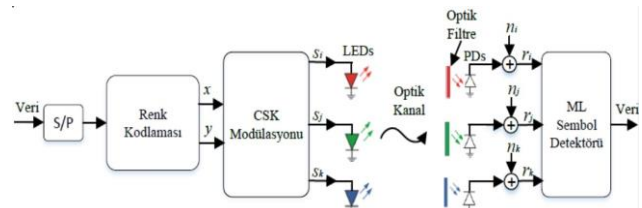


Şekil 1: CIE 1931 renk uzayı kromatik diyagramı [8]

Kırpışma etkisinin meydana gelmemesi için LED'lerden yayılan işaretin toplam optik gücünün bir sembol süresi boyunca (2) eşitliğinde verildiği gibi sabit olması gerekmektedir.

$$P_i + P_j + P_k = P_T \quad (2)$$

CSK sistemine ait blok diyagramı Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2: CSK Sisteminin Blok Diyagramı

Verici tarafta ilk işlem olarak gelen ikili veri renk kodlaması yapılarak CIE 1931 renk uzayında x-y kromatik değerleri ile tanımlanan M seviyeli sembollere dönüştürülür [7]. Sonrasında ise dönüştürülen kromatik değerlere karşılık gelen R, G, B renk bantlarına $\{i, j, k\}$ ait optik güç yoğunlukları (3), (4) ve (5) ile verilen denklem sistemi çözülerek elde edilir [9].

$$P_i x_i + P_j x_j + P_k x_k = x \quad (3)$$

$$P_i y_i + P_j y_j + P_k y_k = y \quad (4)$$

$$P_i + P_j + P_k = 1 \quad (5)$$

Denklem sisteminde yer alan (x_i, y_i) , (x_j, y_j) ve (x_k, y_k) kromatik değerleri CSK sisteminde kullanılan 3 farklı ışık kaynağının (kırmızı/yeşil/mavi, RGB) merkez dalga boylarına karşılık gelen x-y kromatik değerleridir. Sembol uzayında bulunan her bir sembole ait hesaplanan $[P_i, P_j, P_k]^T$ yoğunluk bilgileri işaret uzayında $s_l = [s_{i,l}, s_{j,l}, s_{k,l}]^T$ ($0 \leq l \leq M - 1$) olmak üzere 3-boyutlu sembolleri oluştururlar. Alıcı ile verici arasındaki optik kanal ortamı, kanallar arasındaki girişimin ve optik filtreleme kayıplarının ihmal edildiğinde AWGN kanal olduğu durum için alıcı tarafta alınan işaret (6)'da verildiği gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} r_i \\ r_j \\ r_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_i \\ s_j \\ s_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_i \\ \eta_j \\ \eta_k \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada η_i , η_j ve η_k he birininin varyansı σ^2 olan beyaz gürültüdür. Alıcıda ilk olarak RGB iletim bantlarından gelen işaretler foto detektörler tarafından alınarak optik işaretler elektriksel işaretlere dönüştürülürler. Alınan işaret vektörü $r = [r_i, r_j, r_k]^T$ 3-boyutlu işaret uzayında (7) eşitliği ile verildiği gibi en küçük öklid mesafesine göre en büyük olabilirlik (Maximum Likelihood, ML) sezici ile iletilen sembollere karar verilir.

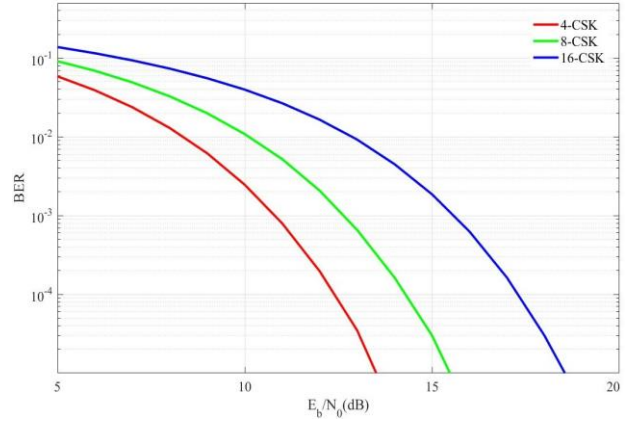
$$\hat{s} = \underset{s_l \in S}{\operatorname{argmin}} \|r - s_l\|_2 \quad (7)$$

Burada S, 3-boyutlu uzayda M seviyeli CSK sembollerinde oluşan kümeye karşılık gelir.

3. Başarım Sonuçları

Şekil 2' de 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonları için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Beklendiği gibi modülasyon seviyesi arttıkça semboller arasındaki öklid mesafeleri azalacağından gürültünün etkisi başarımlar üzerinde daha fazla etkili olmaktadır ve sistemin başarımlarının düştüğü BER sonuçlarından görülmektedir. $1e-4$ BER seviyesine 4-CSK modülasyonu için yaklaşık işaret gürültü oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) SNR=15.4 dB seviyesinde ulaşılmaktadır. 8-CSK ve 16-CSK modülasyonları

kullanıldığında ise aynı BER seviyesine yaklaşık olarak sırasıyla 19 dB ve 23.2 dB SNR değerlerinde ulaşılmaktadır. Aynı BER seviyesinde 4-CSK ile 8-CSK modülasyonu arasında yaklaşık 4 dB'lik bir fark görülmektedir. 4-CSK ile 16-CSK arasında ise yaklaşık 8dB'lik bir fark oluşmaktadır.



Şekil 2: 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonları için benzetim BER değişimleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yeni nesil haberleşme teknolojilerinden olan VLC sisteminde CSK modülasyonunun AWGN kanallar için BER başarımları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan modülasyon seviyesi yükseldikçe semboller arasındaki öklid mesafesinin azalmasıyla beklenildiği gibi BER başarımlarının düştüğü görülmektedir. $1e-4$ BER seviyesinde 4-CSK modülasyonu ile 8-CSK ve 16-CSK modülasyonları arasında sırasıyla yaklaşık olarak 4 dB ve 8 dB'lik bir SNR farkı oluşmaktadır.

Kaynakça

- [1] Ghassemlooy, Z., Alves, L. N., Zvanovec, S., & Khalighi, M.-A. (2017). Visible Light Communications: Theory and Applications.
- [2] Sau Koh, Willem Van Driel, & G. Q. Zhang, Degradation of light emitting diodes: a proposed methodology (2011). Journal of Semiconductors, 32.
- [3] Chow, C.W., Yeh, C.H., Liu, Y.F., & Liu, Y. (2011). Improved modulation speed of LED visible light communication system integrated to main electricity network, Electronics Letters, 47,15,867-868.
- [4] Cui, K.; Chen, G.; He, Q., & Xu, Z., Indoor optical wireless communication by ultraviolet and Visible Light (2009). Proc. SPIE 7464, Free-Space Laser Communications IX.
- [5] Cossu, G., & Khalid, A. M., Choudhury, P., Corsini, R., & Ciaramella, E. (2012). 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED, Optics Express, 20,26, B501-B506.

- [6] Jia, L., Wang, J.-Y., Zhang, W., Chen, M., & Wang, J.-B. (2015). Symbol error rate analysis for colour-shift keying modulation in visible Light communication system with RGB light-emitting diodes, *IET Optoelectronics*, 9,5,199-206.
- [7] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks–Part 15.7:Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light (2011), *IEEE Std 802.15.7-2011*, 1-309.
- [8] CIE, Commission Internationale de l'Eclairage Proc. (1931). Cambridge University Press.
- [9] Tang, J., Zhang, L., & Wu, Z. (2017). Exact Bit Error Rate Analysis for Color Shift Keying Modulation, *IEEE Communications Letters*, 99,1-4.