
Araştırma Makalesi / Research Article

Görünür Işık Haberleşme Sistemleri için SC-PPM Tekniği Kullanılarak Alıcı-Verici Tasarımı

Mehmet SÖNMEZ*

*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye
(ORCID: 0000-0002-6025-3734)*

Öz

Alt Taşıyıcı Darbe Konum Modülasyonu (SC-PPM: Subcarrier Pulse Position Modulation) Görünür Işık Haberleşme (VLC: Visible Light Communication) sistemleri için kullanılan iletim tekniklerinden birisidir. GIH sistemleri için daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde uygulanabilir bir FPGA (Field Programmable Gate Arrays: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) tabanlı sistem eksikliği gözlemlenmiştir. Bu nedenle yapılan çalışmada SC-4PPM için uygulanabilir bir sayısal mimari önerilmiştir. Önerilen mimari FPGA kartı üzerinde gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Ayrıca bilgi bitlerinin alıcı tarafta algılanabilmesi için geleneksel sistemde modülasyonlu sinyal, bir bant geçiren filtre ve bir alçak geçiren filtreden geçirilmesinden sonra karar devresine uygulanmaktadır. Bu çalışmada bant geçiren filtre alıcı taraftan kaldırılarak bir türev alıcı benzeri yapı ile bilgi bitlerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Hem verici hem de alıcı için önerilen mimariler FPGA kartı üzerinde uygulanarak osiloskop üzerinden gerçek zamanlı sonuçlar incelenmiştir. Osiloskop çıktılarına göre önerilen verici ve alıcı mimariler başarılı bir şekilde çalışmaktadır.

Anahtar kelimeler: Alıcı-verici tasarımı, alt taşıyıcı darbe konum modülasyonu, görünür ışık haberleşmesi.

Transceiver Design for Visible Light Communication Systems by using SC-PPM Technique

Abstract

Subcarrier Pulse Position Modulation (SC-PPM) is one of the transmission techniques used in the Visible Light Communication (VLC) systems. It is shown that there is a lack about implementation of SC-PPM on FPGA (Field Programmable Gate Arrays) when the literature related to VLC systems is analyzed. Therefore, a practicable digital architecture is proposed for SC-4PPM in the paper. The proposed architecture is implemented on FPGA board for real time applications. In order to detect data bits at the receiver side, moreover, it is applied on decision stage in the traditional system after modulated signal is passed through a band pass filter and low pass filter. In this study, by removing band pass filter from receiver, data bits are estimated via a structure as a differentiator circuit. The architectures proposed for both transmitter and receiver is implemented on FPGA and the real-time results is observed via oscilloscope. According to oscilloscope measurements, the proposed transmitter and receiver structures successfully operate.

Keywords: Design of transceiver, subcarrier pulse position modulation, visible light communication.

1. Giriş

Görünür Işık Haberleşmesi (GIH) son zamanlarda kapalı ortamlar için birçok çalışmada ilgi odağı olmuştur. GIH, bir LED (Light Emitted Diode: Işık Yayan Diyot) ve bir foto alıcı kullanılarak ışığın algılanması şeklinde verinin iletilmesini sağlayan yeni bir yöntemdir [1]. GIH için literatürde birçok alıcı-verici şeması önerilmiştir [2-3]. Önerilen şemaların amaçları arasında, bant genişliği verimliliğini artırmak, titreme (Flickering) etkisini azaltmak, parlaklık (brightness) kontrolü sağlamak ve konum

*Sorumlu yazar: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr
Geliş Tarihi: 30.01.2020, Kabul Tarihi: 18.05.2020

belirleme gibi konular yer almaktadır [4]. SC-PPM şeması ise karartma ve parlaklık kontrolünü sağlamak için önerilen bir tekniktir [5].

Literatürde, GIH sistemleri için birçok modülasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu teknikler arasından yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi Aç-Kapa Anahtarlama (OOK: On-Off Keying) yöntemidir [6]. OOK tekniği geliştirilerek karartma seviyesi değiştirilebilir yeni bir modülasyon tekniği önerilmiştir. Önerilen teknik Değişken OOK (VOOK: Variable OOK) olarak tanımlanmıştır [7]. Karartma seviyesi kontrolü PPM teknikleri için de geliştirilmiş olup, geliştirilen yöntem Değişken PPM (VPPM: Variable PPM) olarak adlandırılmıştır [8]. Ayrıca kablosuz optik haberleşme sistemleri için önerilmiş olan Ofset PPM (Offset-PPM) [9], Sayısal Darbe Aralık Modülasyonu (DPIM: Digital Pulse Interval Modulation) [10] ve Çakışan PPM (Overlapping PPM) [11] gibi yöntemler de GIH sistemlerine entegre edilmiştir. GIH sistemleri için önerilen tekniklerin teorik analizleri ile birlikte, kullanılan modülasyon tekniklerinin donanımsal tasarımları ve gerçek zamanlı uygulamaları da son zamanlarda ilgi görmeye başlamıştır [12, 13]. Ancak çalışmalar incelendiğinde SC-PPM ile ilgili gerçek zamanlı veri iletimi ve donanımsal tasarım konuları çalışmalar arasında yer almamaktadır. Literatürdeki çalışmalar genellikle SC-PPM tekniğinin enerji verimliliğine katkısı ile ilgilidir. Yapılan bir çalışmada enerji verimliliğini sağlayabilmek için SC-4PPM kullanan bir sistemde yeni bir matematiksel yapı oluşturularak LED parlaklığı problemin optimize edilmesiyle ayarlanmıştır [14]. LED'in Sinyal gürültü oranını (SNR: Signal to Noise Ratio) geliştirmek ve karartma kontrolünü sağlamak için geliştirilen yeni bir yöntem için kullanılan SC-4PPM tekniği parlaklık kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır. Önerilen optimizasyonda alt taşıyıcı frekansı bilgi biti frekansının dört katı olarak seçilmiştir [15]. Bu çalışmayı gerçekleştiren yazarlar farklı bir çalışmada yine enerji tasarrufu sağlayan bir sistem için SC-4PPM tekniğini kullanmışlardır [16]. Modülasyon tekniklerinin güç tüketimleri açısından karşılaştırmalar yapan bir çalışmada SC-4PPM tekniğinin, geleneksel PPM tekniğine göre daha verimli çalıştığı görülmüştür [17].

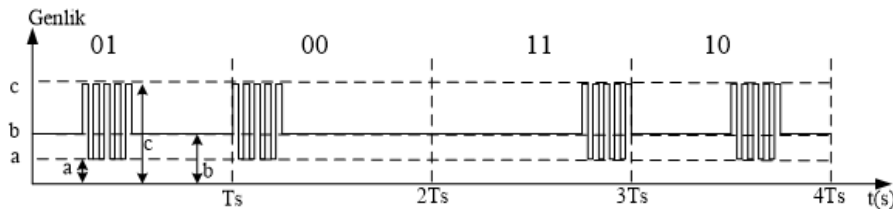
GIH sistemleri için kullanılan modülasyon tekniklerinin donanımsal tasarımı üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmesine rağmen [12,13], SC-4PPM tekniğinin uygulanmasına yönelik yaklaşımlar mevcut değildir. Bu çalışmada SC-4PPM tekniğinin FPGA kullanılarak uygulanması için yeni bir modülatör mimarisi önerilmiştir. Önerilen modülatör mimarisi gerçek zamanlı olarak FPGA kartı üzerinde çalıştırılıp osiloskop sonuçları incelenmiştir. Ayrıca modülasyonlu sinyalin pratik uygulamalarda demodüle edilebilmesi için türev tabanlı bir demodülatör mimarisi tasarlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

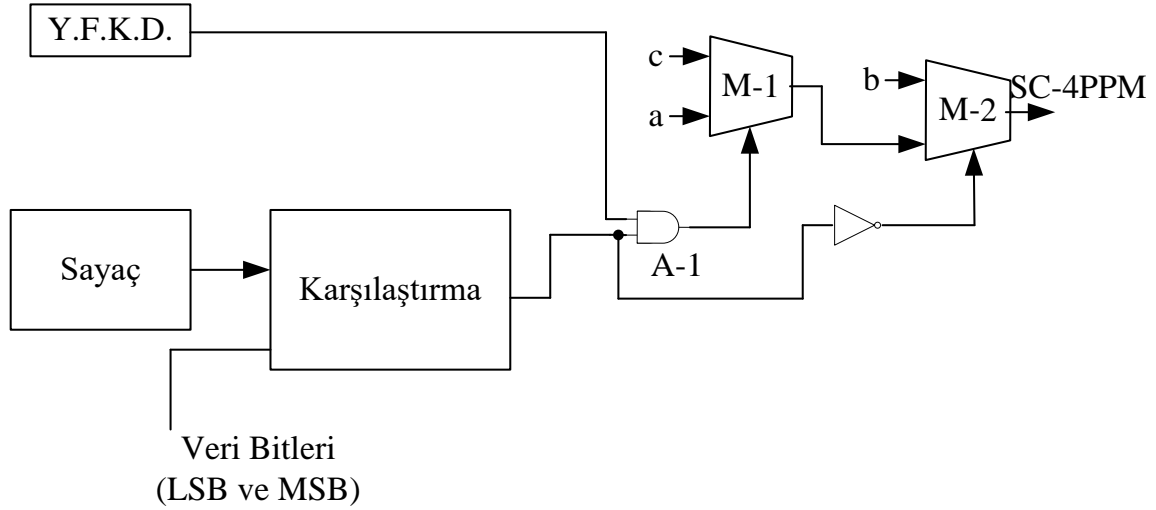
2.1. SC-4PPM Tekniği

PPM tekniği iletilecek olan bilgi bitinin durumuna göre darbenin konumunu değiştiren bir tekniktir. SC-4PPM tekniği de PPM şemasının türlerinden birisidir. SC-4PPM şemasında bir bit iletim süresinde DC bir gerilim vardır. Ancak bilgi bitinin durumuna göre slotlardan birisinde DC gerilim bir kare dalganın üzerine bindirilmiştir.

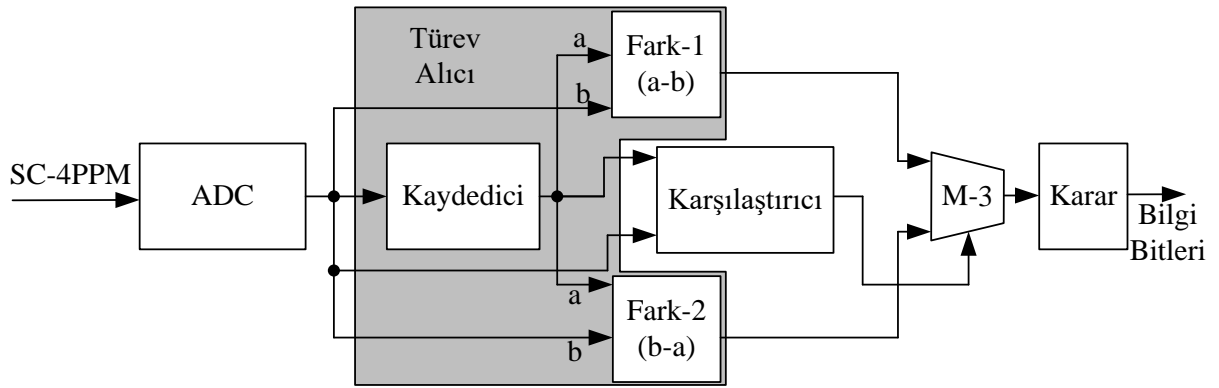
DC gerilim seviyesi değiştirilerek modülasyonlu sinyalin ortalama değeri değişir ve LED parlaklığı değiştirilmektedir. Bu şekilde çalışan bir sistem ile hem modülasyon gerçekleştiriliyorken hem de LED parlaklığı ve karartma seviyesi değiştirilmektedir. SC-4PPM tekniğine ilişkin modülasyonlu sinyalin zamana göre değişimi Şekil 1'de verildiği gibidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi SC-4PPM sinyali bilgi bitinin durumuna göre belirli bir konumda yüksek frekanslı bir sinyal üretmektedir. Bu nedenle modülasyon tekniğine alt taşıyıcılı modülasyon tekniği denilmektedir. Ayrıca frekans kaydırmalı anahtarlama modülasyon tekniğinden farkı taşıyıcı sinyale DC bir sinyal bindirilmesidir. Şekilde T_s sembol periyodunu ifade etmektedir. Şekil 2'de ise SC-4PPM sinyalinin modülatör şeması verilmiştir.



Şekil 1. SC-4PPM sinyalinin bilgi bitlerine göre değişimi



Şekil 2. SC-4PPM modülünün blok diyagramı



Şekil 3. Önerilen SC-4PPM demodülünün blok diyagramı

Literatürde PPM ve I-PPM teknikleri için sayısal tasarımlar mevcut olmasına karşın, SC-PPM tekniğinin uygulanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Verilen diyagramda Y.F.K.D. bloğu yüksek frekanslı kare dalga üreticidir. Şekilde sayaç ve karşılaştırma blokları alt taşıyıcı sinyalin konumun belirlenmesi için kullanılmıştır. Veri bitleri LSB (Least Significant Bit: En düşük Anlamli Bit) ve MSB (Most Significant Bit: En Anlamli Bit) nin on tabanındaki sayı karşılığı sayaç çıkışındaki değer ile eşleştiği anda karşılaştırıcı çıkışı '1' sinyali üretiyorken diğer durumlarda '0' sinyalini üretmektedir.

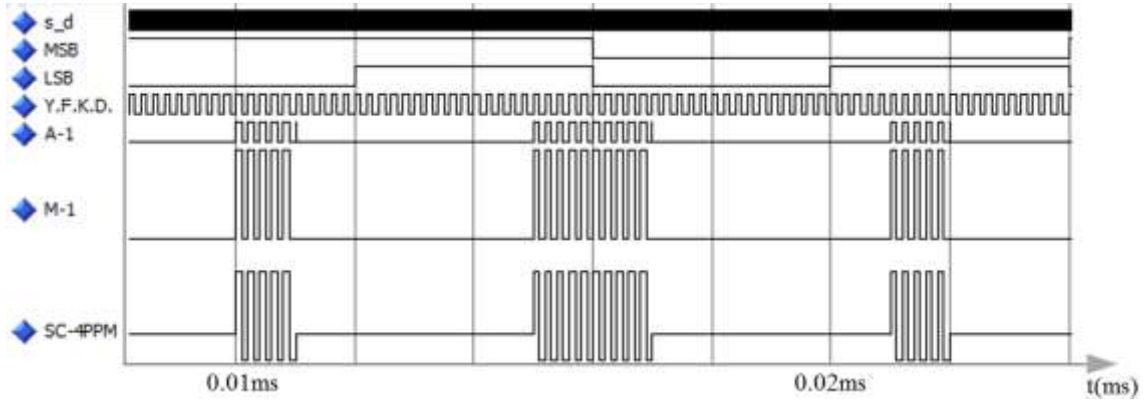
AND (A-1) kapısı çıkışındaki sinyalin çeyrek periyodunda 0 ile 1 lojik seviyesi arasında değişen bir kare dalga (alt taşıyıcı sinyali), diğer çeyrek periyotluk dilimlerde lojik 0 seviyesinde bir sinyal görülmektedir. M-1 mux bloğu, Şekil 1'de görülen modülasyonlu sinyalin a ve c değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. M-1 bloğunun seçici girişine uygulanan sinyal lojik olarak '1' seviyesinde ise mux çıkışında c genliğinde bir sinyal görülüyorken '0' lojik seviyeli giriş için a genlik seviyesine sahip bir sinyal üretilir. M-2 bloğu elde edilen sinyale DC bir genlik eklemek için oluşturulmuştur. Gerçekte, önerilen mimaride alt taşıyıcı sinyali için DC gerilim ekleme işlemi bir önceki mux bloğu (M-1) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Son aşamada kullanılan M-2 bloğu sıfır genlik seviyesindeki sinyaller için bir DC gerilim atama işlemi gerçekler. Bu nedenle alt taşıyıcı sinyali ile zaman diliminin de çakışmaması için AND kapısı çıkışı not işleminden geçirilmiştir. M-2 bloğu çıkışında SC-4PPM sinyali üretilmiş olur.

Yapılan çalışmada SC-4PPM bir demodülör tasarımı da önerilmiştir. Önerilen demodülör karşılaştırıcı tabanlı bir karar bloğu kullanılarak tasarlanmıştır. Önerilen tasarımda kare dalga sayısına bağlı olarak sinyalin konumun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen demodülör mimarisi Şekil 3'te verildiği gibidir. SC-4PPM modülasyonlu sinyal FPGA kartı tarafından Analog Sayısal Dönüştürücü (ADC: Analog to Digital Converter) üzerinden alındıktan sonra bir türev alıcı devresinden geçirilmektedir. Türev alıcı devresi bir önceki ve bir sonraki örneklerin farkını almaktadır. Türev alma işleminden sonra karar bloğu içerisinde integral işlemi gerçekleştirilerek sinyalin konumunun tespit

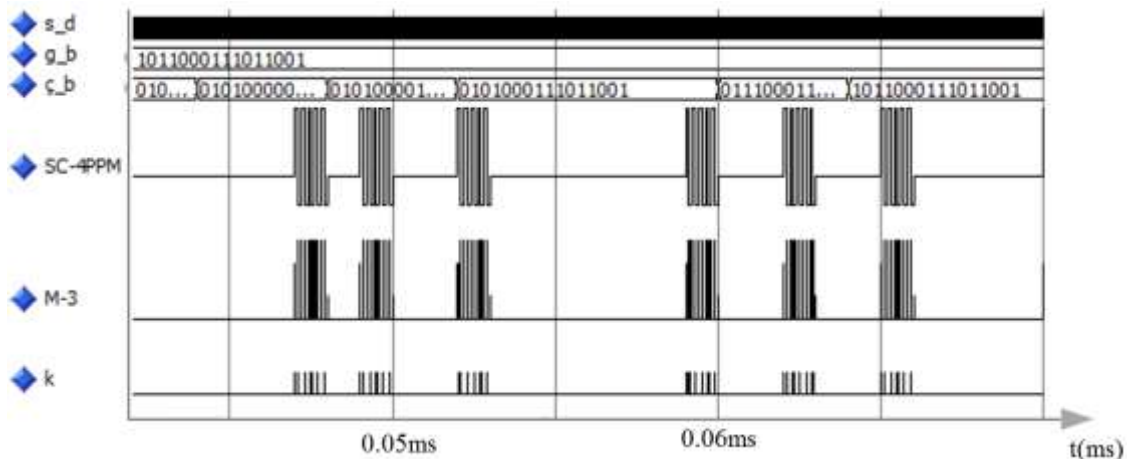
edilmesi sağlanır. Önerilen tasarımdaki problem integral alıcı çıkışının sıfır olmasıdır. Eğer kare dalga sinyal bir türev alıcıdan geçirilirse kare dalganın yükselme anında pozitif bir genlik değeri elde ediliyorken, düşme anında aynı büyüklükte bir negatif değer elde edilecektir. Elde edilen değerler bir integral alıcı girişine uygulandığında integral alıcı çıkışında sıfır değeri görülecektir. Bunu engellemek için her defasında örneklerin büyük değerli olanından küçük değerli olanının farkı alınmaktadır. Bu nedenle iki Fark devresi (Fark-1 ve Fark-2) kullanılmıştır. Fark devreleri çıkışındaki pozitif değerli sayıyı karar devresine alabilmek için karşılaştırıcı çıkışındaki sinyal, girişine fark devrelerinin çıkışı bağlanmış bir mux bloğunun seçici pin görevini görmektedir. Mux bloğu çıkışında pozitif değerli sayı elde edilecektir. Mux ve karşılaştırıcı bir mutlak değer görevi görmektedir.

3. Bulgular

Modelsim Altera programı kullanılarak mimarinin girişlerinin ve çıkışlarının zamana göre değişimleri incelenmiştir. Önerilen modülatör mimarisi FPGA derleyicisi Quartus programı kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 4'te önerilen mimari için elde edilen modelsim simülasyon programı çıktıları verilmektedir. Şekilde LSB ve MSB, bilgi bitlerini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi A-1 sinyali PPM sinyal özelliği göstermektedir. PPM sinyal ile yüksek frekanslı kare dalga sinyali AND kapısından geçirilerek A-2 sinyali elde edilmiştir. Elde edilen A-2 sinyali lojik '1' ve lojik '0' seviyelerini göstermektedir. SC-4PPM sinyalinin elde edilebilmesi için yüksek frekanslı taşıyıcı için a ve c değerlerinin belirtilmesi gerekmektedir. Bir (a-c) sabit değeri belirlenip, M-1 bloğunun giriş-1 pininden uygulansaydı ve giriş-0 pininden de gerilim değeri 0 olan bir sinyal uygulansaydı; M-1 bloğu çıkışında (a-c) ve 0 arasında değişen bir kare dalga elde edilecekti. M-1 bloğu çıkışına bir DC gerilim (b) eklenerek M-2 bloğu çıkışındaki sinyal elde edilebilirdi. Bizim önerdiğimiz tasarımda a, b ve c değerleri doğrudan değiştirilebilir olduğundan LED parlaklık ayarı daha rahat gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4. SC-4PPM modülatörü için simülasyon sonuçları



Şekil 5. SC-4PPM sinyali için demodülasyon süreci

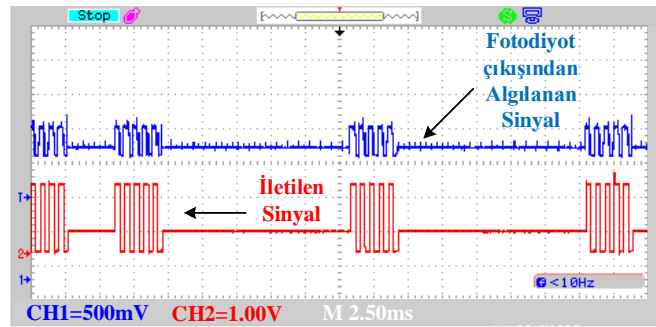
Şekil 5'te SC-4PPM sinyalin demodülasyon sürecini gösteren simülasyon sonuçları verilmektedir. Şekilde g_b ve ç_b sırasıyla gönderilen ve demodüle edilen bitleri göstermektedir. Ayrıca k sinyali, Şekil 3'te görülen karşılaştırıcı bloğunun çıkışındaki sinyali vermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi eğer kaydedici çıkışı ADC çıkışındaki sinyalden büyükse k sinyali lojik '1' seviyesinde olup diğer durumlarda lojik '0' seviyesindedir. Karşılaştırıcı bloğu çıkışındaki sinyal sayesinde M-3 mux bloğu çıkışındaki sinyal devamlı olarak pozitif değerdedir. Çünkü mux bloğu hep sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olan sayıların iletimini sağlamaktadır. Ayrıca simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi demodülasyon süreci sonunda bilgi bitleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

3.1. Deneysel Bulgular

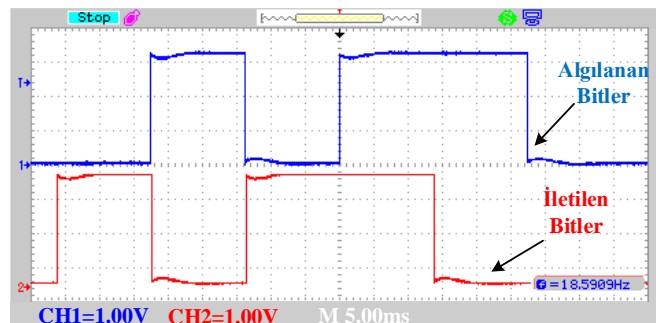
Önerilen alıcı-verici mimarisi (Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen tasarımlar) Altera DE-0 Nano kart üzerinde gerçekleştirilmiştir. Altera DE-0 üzerinde dâhili bir analog-sayısal dönüştürücü bulunmaktadır. Ayrıca verici tarafta modülasyonlu sinyalin LED'e uygulanabilmesi için harici bir sayısal analog dönüştürücü kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre önerilen mimarinin uygulanabilir olduğu görülmektedir. Ayrıca alıcı-verici mimarilerinin hızını sınırlandıran çevre birimlerden (özellikle kullanılan sayısal-analog dönüştürücü) dolayı bir bit iletim süresi yaklaşık olarak 14ms civarındadır. SC-4PPM modülasyonlu sinyalin algılanabilmesi için basit bir demodülatör mimarisi kullanılmıştır.

Demodülatör mimarisi SC-4PPM sinyalinden DC seviyeyi kaldırarak yüksek frekanslı sinyalden iletilen bilgi bitlerini tahmin etmektedir. SC-4PPM vericisi bir DAC üzerinden LED sürücüsüne bağlanmıştır. Alıcı tarafta ise bir ADC kullanılarak foto alıcı üzerinden alınan sinyalin sayısal karta aktarımı sağlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen deneysel kurulumda LED ve foto alıcı mesafesi değiştirilerek alınan sinyalin kalitesinin değişimi incelenmiştir.

Şekil 6'da SC-4PPM sinyalin değişimi görülmektedir. Kırmızı renkli olan sinyal LED'li devreye uygulanan sinyal olup mavi renkli sinyal ise foto alıcı çıkışından alınan sinyaldir. Gürültüden dolayı alıcı tarafta alınan sinyalde bozulmaların olduğu görülmektedir. Şekil 6'da görülen mavi renkli sinyal bir ADC üzerinden geçirilerek, alıcı tarafta bir türev alıcı devresinden geçirilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi mavi sinyal üzerinde gürültü kaynaklı istenmeyen sinyaller yer almaktadır. Şekil 7'de ise verici taraftan iletilen (kırmızı renkli sinyal) ve alıcı çıkışında algılanan (mavi renkli sinyal) bitler görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bilgi bitleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Şekil 6 ve 7'den görüldüğü gibi önerilen modülatör mimarisi gerçek zamanlı olarak uygulanmış olup bilgi bitlerinin iletimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. SC-4PPM modülasyonlu sinyaller



Şekil 7. İletilen ve algılanan bitler

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, görünür ışık haberleşme sistemlerinde kullanılan modülasyon tekniklerinden SC-4PPM için yeni bir modülatör mimarisi önerilmiştir. Önerilen mimari Altera programında sayısal olarak tasarlanmış olup gerçek zamanlı olarak FPGA kartı üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca SC-4PPM için yeni bir demodülatör mimarisi teorik olarak önerilmiş olup, önerilen mimari de gerçek zamanlı olarak FPGA kartı üzerinde uygulanmıştır. Haberleşme sistemlerinde veri iletim hızının önemli bir parametre olduğu göz önünde bulundurulursa, ileride yapılacak olan çalışmalarda SC-4PPM tekniği için yüksek hızlı modülatör-demodülatör tasarımları gerçekleştirilebilir. Ancak görünür ışık haberleşme sistemlerinde kullanılan diğer birimlerin (fotodiyot gibi) de hız konusunda sınırlandırıcı bir faktör olduğu düşünülmelidir. Çünkü fotodiyot, bir alçak geçiren filtre görevi görmekte olup belirli bir frekans cevabı mevcuttur. Ayrıca frekans cevabı fotodiyodun malzemesine göre farklılık göstermektedir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Le N.T., Jang Y.M. 2015. Smart color channel allocation for visible light communication. *Optical Switching and Networking*, 15: 75-86.
- [2] Khan L.U. 2017. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*, 3 (2): 78-88.
- [3] Kadirvelu S., Vijayalakshmi B. 2018. Visible light communication using LED as receiver with the effect of ambient light. *Opt. and Quant. Electronics*, 50 (15): 1-11.
- [4] Ndjongue A.R., Telex M.N.N., Octavia A.D. Ana G.A. 2020. VLC-Based Networking: Feasibility and Challenges. *IEEE Network*, Early Access Article, 1-8.
- [5] Sugiyama H., Haruyama S., Nakagawa M. 2007. Brightness Control Methods for Illumination and Visible-Light Communication Systems. *Proceedings of the Third International Conference on Wireless and Mobile Communications Physical Communication*, 4-9 March, Guadeloupe, pp: 1-6.
- [6] Yeh C.H., Chow C.W., Wei L.Y. 2019. 1250 Mbit/s OOK Wireless White-Light VLC Transmission Based on Phosphor Laser Diode. *IEEE Photonics Journal*, 11 (3): 1-6.
- [7] Lee K., Park H. 2011. Modulations for Visible Light Communications With Dimming Control. *IEEE Photonics Technology Letters*, 23 (16): 1136-1138.
- [8] Yoo J.H., Jung S.Y. 2013. Modeling and analysis of variable PPM for visible light communications. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 134 (1): 1-6.
- [9] Ahfayd M.H., Sibley M.J.N., Mather P.J., Lazaridis P.I. 2017. Visible light communication based on offset pulse position modulation (Offset-PPM) using high power LED. *General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)*, 16-26 August, Gent, pp: 1-4.
- [10] Liu Y., Zhang G. 2014. A new modulation scheme of visible light communication. *Optoelectronics Letters*, 10 (4): 273-276.
- [11] Gancarzy J.E., Elgala H., Little T.D.C. 2015. Overlapping PPM for band-limited visible light communication and dimming. *Journal of Solid State Lighting*, 3 (2): 1-9.
- [12] Jeong J.D., Lim S.K., Jang S., Kim M.S., Kang T.G., Chong J.W. 2014. Novel Architecture for Efficient Implementation of Dimmable VPPM in VLC Lightings. *ETRI Journal*, 36 (6): 905-912.

- [13] Lee S., Ahn B.G., Ju M.C., Park Y. 2016. A modified VPPM algorithm of VLC systems suitable for fast dimming environment. *Optics Communications*, 365: 43-48.
- [14] Din I., Kim H. 2014. Energy-Efficient Brightness Control and Data Transmission for Visible Light Communication. *IEEE Photonics Technology Letters*, 26 (8): 781-784.
- [15] Li F., Wu K., Zou W., Chen J. 2015. Optimization of LED's SAHPs to simultaneously enhance SNR uniformity and support dimming control for visible light communication. *Optics Communications*, 341: 218-227.
- [16] Li F., Wu K., Zou W., Chen J. 2016. Analysis of energy saving ability in dimming VLC systems using LEDs with optimized SAHP. *Optics Communications*, 361: 86-96.
- [17] Lin C., Zhu Y., Zhang Y. 2016. An Appropriate Modulation Scheme for High Density Visible Light Communication System. 4th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology, 23-24 January, Hangzhou, pp: 1108-1112.