

Sayısal Biyomedikal Uygulamalar için Tek Kanal Üzerinden Güç ve Veri İletimi Gerçekleştirilen Optik İletişim Sistemi Modeli

Optical Communication System with Single Channel Power Delivery and Data Transmission for Digital Biomedical Applications

Asli Yelkenci, Baykal Sarioglu

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Bilgi Üniversitesi
asli.yelkenci@bilgi.edu.net, baykal.sarioglu@bilgi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, sayısal bir biyomedikal mikrosisteme, tek kanal üzerinden optik güç ve veri iletilmesini olanaklı kılan bir optik iletişim sistemi modeli sunulmuştur. Sunulan iletişim sisteminde, Darbe Genişlik Kiplemesi kullanılarak güç, veri ve saat darbelerinin aynı anda tek kanal üzerinden iletilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan iletişim hattının özelliklerinden ve iletişimi gerçekleştirecek alıcı ve verici devrelerin yapısından bahsedilmiştir. Sunulan sistem, optik güç ile çalışan sayısal devreler için veri iletiminin de optik olarak yapılması adına birden fazla ışık kaynağı ve fiber-optik kablo kullanılmasının önüne geçmektedir. Sonuç olarak, sunulan sistemin, güç tüketimi gereksinimlerini düşürdüğü ve özellikle optik güç ile çalışan biyomedikal mikrosistemler için uygunluğu gösterilmiştir.

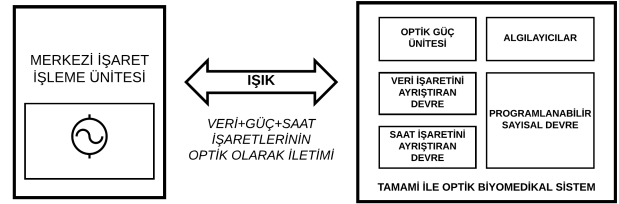
Abstract

In this paper, a communication system model in which optical power delivery and optical data transmission realized on a single channel is proposed. In the proposed system, optical power, data, and clock pulse signals are transmitted together on a single channel by applying Pulse Width Modulation on the light source. System model and the components are described in detail. The presented architecture enables single light sources and single fiber optical cable utilization, and hence, it can be integrated to compact, low-power, optical biomedical microsystems.

1. Giriş

Gelişen entegre devre teknolojisi ve buna bağlı olarak bu sistemler için güç tüketimi gereksinimlerindeki düşüşün sadece ortam ışığı ile çalışan mikrosistemlerin tasarımına olanak sağlayacağı görülmektedir. Ayrıca, optik veri iletimi, diğer kablolu iletişim yöntemlerinin mevcut olmadığı ortamlarda, mikrosistemlerin çalışmasına olanak sağlamaktadır[1-6]. Özellikle radyo dalgaları ile ve kablolu veri iletiminin zararlı olduğu birçok biyomedikal uygulamasında optik olarak güç sağlanmasının ve veri iletiminin daha uygun olacağı da belirtilmiştir [1][6].

Bu tarz optik uygulamalarda, güç ve işaret farklı kanallardan iletelebilmektedir. Ancak bu durum devrenin karmaşıklığını ve iletişim devresi için gereken komponent sayısını artırmaktadır. Öte yandan, tek kanaldan optik gücün ve veri işaretlerinin

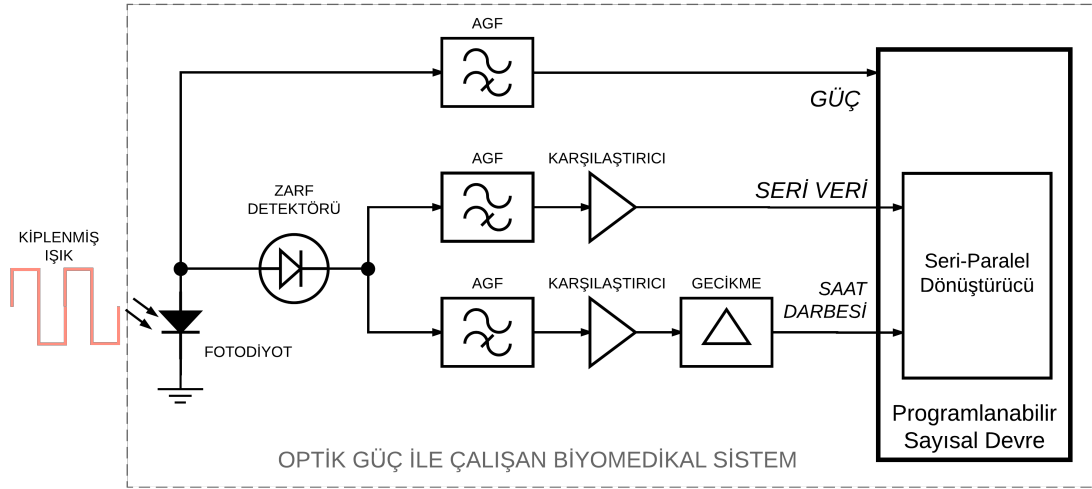


Şekil 1. Optik güç ile çalışan optik olarak programlanabilen sayısal biyomedikal mikro-sistemin genel blok şeması

birlikte iletilmesi, daha az yer kaplayan mikro cihazların hayata geçirebilmesine ve dolayısıyla bu sistemlerin biyomedikal implant olarak vücut içine yerleştirilebilmesine olanak sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, geliştirilmekte olan taşınabilir ve/veya implante edilebilir biyomedikal cihazlar, yüksek kalite sağlık hizmeti sağlayıp, diğer taraftan da sağlık bakım maliyetlerini de düşürmek adına büyük önem arz etmektedirler [7]. Bir diğer taraftan, kalp pilleri gibi biyomedikal implante uygulamalarında güç yeniden şarj edilemeyen pillerle sağlanırken, koklear implant gibi uygulamalarda ise sistem doğrultulmuş kablolu enerji ile beslenmektedirler. Bu iki uygulamada da güç tüketimi, bobine, antene veya pile bağlıdır ve tüketimi azaltmak için de bu bileşenlerin boyutları minimize edilmelidir. Ayrıca, implante edilebilir piller oldukça maliyetlidir ve bu da canlı içine konulacak sistemlerin çok masraflı olmasına sebep olmaktadır [8]. Herhangi bir pile ihtiyaç duymayan, optik olarak güç sağlanan ve optik olarak programlanabilen biyomedikal sistemlerin gerçekleştirilmesi bu sebeplerden ötürü daha da büyük öneme sahip olmaktadır.

Programlanabilen biyomedikal implantlar gün geçtikçe literatürde daha büyük kabul görmektedir [2]. Sistemin parametrelerinin programlamayla çok kolay bir şekilde ayarlanabilmesi olmasından dolayı, bu cihazlar uzaktan görüntüleme veya müdahale için çalıştırılabilmektedir. Bunun yanı sıra, bu programlanabilir cihazlar algılama için kullanılan analog devreler dışında büyük çoğunlukla sayısal devrelerden oluşmaktadır. Diğer tüm sayısal olarak programlanan devreler gibi (mikroişlemciler, mikrodenetleyiciler, FPGA vb.) bu mikro cihazlar da işlem yapabilmek için saat darbelerine, dolayısıyla bir bütünsel salıngaç ihtiyacı duymaktadır. Ancak, salıngaç çalışmasının dış etmenlere göre olan değişimi (sıcaklık, nem vb.) canlı içindeki bir biyomedikal devresi için oldukça büyük bir önem arz etmektedir ve çizgisel düzenleyici, bant aralığı

Bu çalışma TÜBİTAK 114E549 no. lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Önerilen optik iletişim sisteminin blok şeması

referans devreleri gibi devreler kullanılarak bu etmenlerin etkisi bastırılmalıdır. Buna ek olarak, veri iletimini sağlayabilmek için, genel seri haberleşme protokolleri ek kanalların kullanılmasını gerektirmektedir.

Sayısal optik güç ile çalışan biyomedikal sistemler için yukarıda anlatılan bu yöntemlerin dezavantajlarını indirgeyecek yeni bir iletişim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Tek bir hat-tan veri ve saat darbelerinin optik olarak iletilmesi için, saat darbelerinin veriden ayrıştırılması gerekmektedir. Bu amaç için düşünülen sistem bu işlemi sayısal 1 ve sayısal 0'ın darbe uzunluklarını farklılaştırarak, bu işaretleri alçak geçiren filtreler yardımıyla ayırıştırma yöntemiyle çalışmaktadır.

Bu çalışmada, optik olarak çalıştırılan mikro-sistemler için, tek bir hat üzerinden hem verinin, hem saat darbelerinin hem de devreye güç sağlayabilmenin mümkün kılındığı bir sistem modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında tek bir ışık kaynağı kullanılarak, bir biyomedikal sisteme, verinin, saat darbelerinin ve optik gücün aynı hat üzerinden iletilmesinin sistem modeli önerilmektedir.

Bu doğrultuda, bu bildiri de II. kısım'da optik güç ile çalışan sistemin tanımlanması, III. kısım'da sisteme gönderilecek işaretlerin nasıl elde edildiğinin açıklanması şeklinde ilerleyecektir. Son kısımda ise nihai yorumlardan bahsedilerek makale sonlandırılacaktır.

2. Optik Güç ile Çalışan Sayısal Biyomedikal Sistem Tanımı

Önerilen sayısal biyomedikal mikro-sistemin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Sistem iki ana bloktan meydana gelmektedir. Birinci ana blok, temel olarak, işaretleri alan ve gönderen ve dokuda yer alan (*in-vivo*) cihaza gücü optik olarak sağlayan bir alıcı-verici (CPU) yapısıdır. İkinci ana blok ise, bahsi geçen canlı içindeki mikro cihaz olmanın yanı sıra aynı zamanda sayısal olarak programlanabilen bir devreye sahiptir. Ayrıca, sensöründen aldığı değeri optik olarak ileten yongayla tümleşik bir verici içermektedir. Bunun yanı sıra, sisteme iletilecek optik güç, yonga üzerindeki fotodiyotlar sayesinde ortam ışığından sağlanmaktadır. Bu optik güç, tüm sistem tarafından kullanılacağından, devamlı bir uygulamanın mümkün ola-

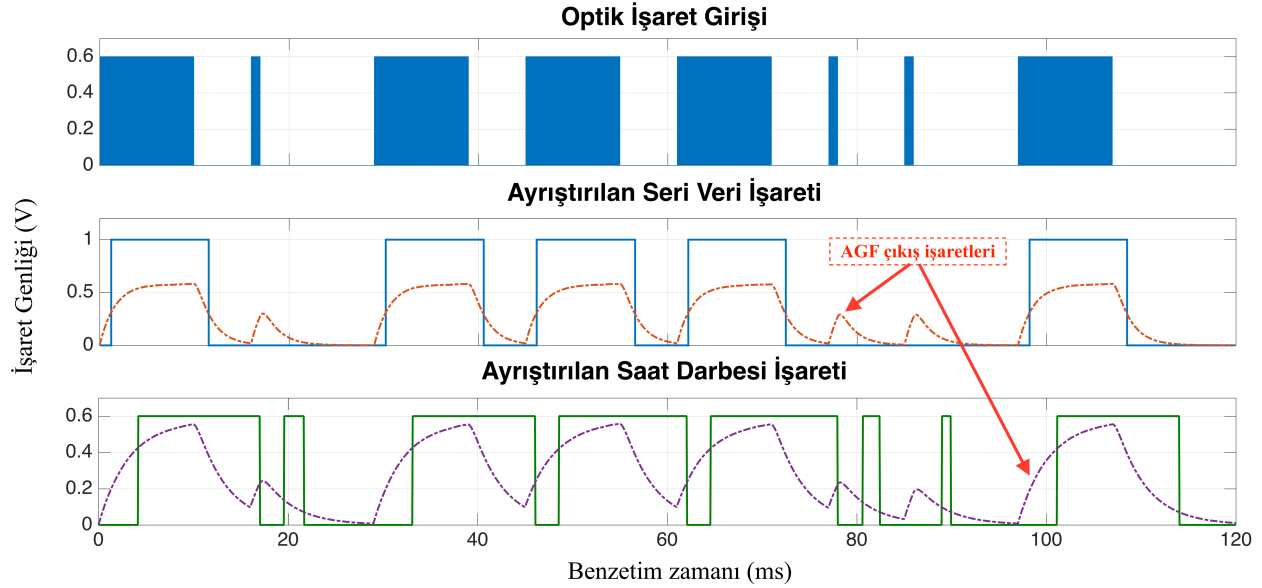
bilmesi adına canlı içindeki bu sistemin tüm bileşenleri az güç tüketen bir yapıda tasarlanmalıdır. Bunlara ek olarak, seri girişi, belirlenen kıstaslara göre bu girişten veri ve saat darbeleri olarak ayıracak devrelerin ana blok içinde yer almaktadır.

3. Optik İletişim Hattı

Sistemin işleyeceği optik işaret, verinin, saat darbelerinin ve devreye sağlanacak gücün birleşimidir. Veri işareti, ışık kaynağının uygun şekilde kiplenmesi sayesinde saat darbeleriyle aynı hat üzerinden, seri olarak sisteme iletilmektedir. Aynı zamanda, daha az güç harcamak amacıyla da bu veri işareti sistemin bloklarına gönderilmeden önce bir taşıyıcı işaret ile çarpılmaktadır. Verinin ve saat darbelerinin aynı anda sisteme iletilmesi, Darbe Genişlik Modülasyonu tekniği sayesinde mümkün olabilmektedir. Sayısal 0 ve 1'e atanmış farklı darbe uzunlukları bu tekniğin temel işleyiş şeklini ifade etmektedir. Şekil 2'de optik işaretlerin algılanmasında kullanılması önerilen iletişim hattının blok şeması sunulmuştur. Temel olarak, taşıyıcı işaret ile çarpılmış veri işaretinin tepe noktalarının takibi, zarf algılayıcısı devresi kullanılarak yapılmaktadır. Ardından tepe noktaları algılanmış bu işaret, önceden belirlenmiş darbe uzunluklarına göre ayarlanmış alçak geçiren filtrelerle gönderilerek, saat darbelerinin veriden ayrıştırılması sağlanmaktadır. Bununla birlikte alçak geçiren filtrelerin ayarlanması uygun bir kesim frekansına göre yapılmalıdır.

Örneğin, sayısal 1'e tekabül eden darbe uzunluğu 10MHz ve sayısal 0'a karşılık gelen frekans değerinin 1MHz olduğu durumda, sistemin düzgün ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kesim frekansını 2-3MHz seviyesinde ayarlamak mantıklı olacaktır.

Sistem modelleme çalışmalarımız sırasında, 100 Hz orijinal veri 1 kHz frekansa sahip bir taşıyıcı işaret ile çarpılarak module edilmiştir. Ardından MATLAB Simulink ortamında, klasik bir zarf algılayıcısı devresi olarak bir fonksiyon bloğu konulmuştur ve bu blok işaretin tepe noktalarını takip etmektedir. Bunun yanı sıra, alçak geçiren filtrelerle tekabül etmesi için sisteme transfer fonksiyonlar eklenmiştir. Buna ek olarak, bir alçak geçiren transfer fonksiyonun formülü aşağıdaki gibidir;



Şekil 3. Önerilen sistem modelinin 8-bit veri aktarımı için gerçekleştirilen benzetim sonuçları.

$$H(s) = \frac{\omega_{kesim}}{s + \omega_{kesim}} = \frac{1}{1 + s/\omega_{kesim}} \quad (1)$$

Eşitlikte, $\omega_{kesim} = f_{kesim}/2\pi$; sistemde modellenmiş tek kutuplu bir RC alçak geçiren filtre devresi için $f_{kesim} = 1/2\pi RC$ olmaktadır. Transfer fonksiyonları önceden belirlenmiş olan darbe uzunlukları modülasyonuna göre ayarlanarak sistemde Şekil 2’de gösterildiği gibi yer bulmuştur.

3.1. Verinin Ayrıştırılması

Verinin elde edilmesi, önceden belirlenmesi gereken darbe uzunluklarına bağlıdır. Bu belirleme işlemi yapılırken sistemin özellikleri ve çalıştığı frekans değerleri esas alınmalıdır. Bu çalışmada, sayısal 1’in darbe uzunluğu 10 adet ardışık sayısal 1 iken, sayısal 0 için tek bir sayısal 1 gönderilmektedir. Böylelikle, bu iki sayısal değere tekabül eden frekans değerleri değiştirilmiş olmaktadır. Bu değişim matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir;

$$f_{PWM} = \frac{\text{Taşıyıcı işaret frekansı}}{\text{Ardışık sayısal 1 sayısı}} \quad (2)$$

Bu sebeple de 100 Hz frekans kesim frekansı olarak seçilmiş ve uygun transfer fonksiyon sisteme eklenmiştir. Uygun kesim frekansının belirlenmesi ve yine buna uygun alçak geçiren filtresinin sisteme yerleştirilmesinin ardından, daha yüksek frekansa sahip sayısal 0’ı ifade eden işaret filtre edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, görece daha düşük frekansa sahip sayısal 1’i işaret eden işaret ise veri ayrıştırılması bloğunun çıkışında sayısal 1 olarak gözlemlenebilmektedir. Şekil 3’te seri girişten ayrıştırılmış veri incelendiğinde filtre çıkışındaki işaret noktalı çizgilerle temsil edilmektedir. Ayrıca, yine aynı benzetimdeki kare darbeler ise karşılaştırıcıdan geçtikten sonra elde edilen işaretlerdir. Böylelikle de, kısa sayısal 1 işaretinin filtrelendiği gözlemlenebilmektedir.

3.2. Saat Darbelerinin Ayrıştırılması

Verinin uygun şekilde elde edilmesinin ardından gelen aşama her bir veri için saat darbelerinin elde edilmesidir. Verinin sisteme iletilmesi adına, veri sayısal 0’a filtre edilmiş olsa bile, bu değer için bir saat darbesi bulunmalıdır. Sisteme veri aktarımı konusunda büyük önemi bulunan saat darbelerinin elde edilmesi benzer bloklar sayesinde yapılmaktadır. Ancak, bahsedildiği üzere, ana sistemin veriyi düzgün bir şekilde işleyebilmesi adına, sayısal 0 için de uygun bir zamanda gelen sayısal 1 olmalıdır. Bununla birlikte, filtreleme işleminin ardından verinin kazandığı gecikme zamanı saat darbelerini ayrıştıran blok için hesaba katılmak zorundadır. Çünkü saat darbeleri, veriden sonra gelmelidir. Bir başka deyişle, veri sisteme iletilmek üzere saat darbesi için sistemin girişinde hazır olmak durumundadır.

Bu durumlar gözetilerek, 50 Hz kesim frekansına sahip transfer fonksiyonu bloğunun sisteme yerleştirilmesi sayesinde, sayısal 0 ve sayısal 1 için uygun zamanda gelen saat darbeleri üretilebilmektedir. Şekil 3’te verilen benzetim sonuçlarında seri veriden ayrıştırılmış saat darbelerinin, sayısal 0 ve 1 değerlerini sisteme iletmek üzere elde edildiği gözlenmektedir. Ayrıca, saat darbeleri yukarıda anlatılan duruma uygun olarak, veriden daha sonra gelmektedir. Yani, veri, saat darbeleri için hazır bir halde beklemektedir. Benzetimler sırasında 8-bitlik bir iletişim hattının modellenmesi hedeflenmiştir. Bunun yanında benzetimler sırasında optik giriş işareti genliği, aydınlatılmış tek bir tüneleli fotodiyot gerilimini temsil etmesi açısından 0.6V olarak ayarlanmıştır.

4. Sonuç

Biyomedikal uygulamalarda sistemlerin çok düşük güçle çalışması gerektiği dikkate alındığında, herhangi bir bütünsel salgıncaya veya birden fazla kanala ihtiyaç duyan seri iletişim protokolüne gerek duymadan bir sistemin oluşturulması düşünülmüştür. Bu sebeple de, saat darbeleri verinin kendisinden üretilecek şekilde bir sistem modeli bu makalede tanımlanmıştır. Darbe Uzunluk Kiplemesi tekniği sayesinde

farklı frekanslar kazandırılan işaretler alçak geçirgen filtreler kullanılarak, sistemin çıkışında sayısal 0 ve 1'ler amaca uygun şekilde elde edilmiştir. Sonuç olarak, optik olarak çalışan ve optik olarak programlanabilen sistemlerin düşük güç ile çalışıp devamlı bir performans gösterebilmesi adına efektif şekilde çalışan bir sistem modeli önerilmiş ve hayata geçirilebilir olmuştur.

5. Kaynaklar

- [1] Sarioglu B., "An Optically Powered CMOS Tracking System for 3 T Magnetic Resonance Environment", IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, cilt. 9, no. 1, sf. 12-20, 2015
- [2] Mujeeb-U-Rahman M., "Optical power transfer and communication methods for wireless implantable sensing platforms", Journal of Biomedical Optics, cilt. 20, no. 9, 2015
- [3] Haydaroglu I. ve Mutlu S., "Optical Power Delivery and Data Transmission in a Wireless and Batteryless Microsystem Using a Single Light Emitting Diode", Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 24, no. 1, sf. 155-165, 2015.
- [4] Ayazian S., "A photovoltaic-driven and energy-autonomous CMOS implantable sensor", IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst., cilt. 6 no. 4, sf. 336-343, 2012.
- [5] Freedman D. S., "Addressable floating light activated micro-electrical stimulators for wireless neurostimulation", Proc. 5th Int. IEEE/EMBS Conf. NER, sf. 486-489, 2011.
- [6] Fandrey S., "Development of an active intravascular MR device with an optical transmission system", Trans. Med. Imag., cilt. 27, no. 12, sf. 1723-1727, 2008.
- [7] Li X., "Ultra-Low-Power Biomedical Circuit Design and Optimization: Catching The Don't Cares", Integrated Circuits (ISIC) 14th International Symposium, sf. 115-118, 2014.
- [8] Sarpeshkar R., "Ultra Low Power Bioelectronics: Fundamentals", Biomedical Applications and Bio-Inspired Systems, Cambridge, 1985