Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development
UMAGD, (2019) 11(2), 695-704.
10.29137/umagd.555971
Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2019
Araştırma Makalesi / Research Article

Kapalı Döngü Fiberoptik Jiroskop Sistemleri için Yerçekimi Arama Algoritmasına Dayalı PID Kontrolcü Tasarımı

Design of PID controller based on Gravitational Search Algorithm for Closed Loop Fiberoptic Gyroscope

Hüsamettin Şerbetçi [*1], **İsa Navruz**[2]

[1]*Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ÇANKIRI*
[2]*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA*

***Başvuru/Received**: 19/04/2019* ***Kabul/Accepted**: 30/05/2019* ***Son Versiyon/Final Version**: 30/06/2019*

Öz

Bu çalışmada kapalı döngü fiberoptik jiroskop sistemleri için yeni bir PID kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. PID kontrolcünün katsayıları yerçekimi arama algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Algoritma ile fiberoptik jiroskobun açısal hız değişimlerini izleme hatası minimize edilmiştir. Tasarlanan jiroskop sistemi bilgisayar ortamında test edilerek jiroskobun açısal hız değişimlerine tepkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar PID kontrolcünün sentezlenmesi sayesinde açısal hızın çok yüksek bir hassasiyetle ölçülebileceğini göstermiştir. Önerilen sentez yöntemi sadece fiberoptik jiroskoplar için değil kapalı döngü içeren pek çok farklı sistemde PID sentezinde başarılı sonuçlar üretebilir.

Anahtar Kelimeler

"Fiber jiroskop, Dönü sensörü, Yerçekimi arama algoritması, PID kontrolcü"

Abstract

In this study, a new PID controller design for closed loop fiberoptic gyroscope systems was performed. The PID controller coefficients were determined by using the gravity search algorithm. The algorithm has minimized the error of tracking the angular velocity variations of the fiberoptic gyroscope. The designed gyroscope system was tested numerically with a computer and the response of the gyroscope to angular velocity variations was analyzed. The results showed that the angular velocity can be measured with very high precision by the synthesis of the PID controller. The proposed synthesis method can produce successful results in PID synthesis in many different systems not only for fiberoptic gyroscopes but also for closed loop.

Key Words

"Fiber gyroscope, Rotation sensor, Gravity search algorithm, PID controller"

***Sorumlu Yazar:** hserbetci@karatekin.edu.tr*

1. Giriş

Açısal yön ve hızdaki değişimlerin bilinmesi, birçok sistem için büyük öneme sahiptir. Jiroskoplar açısal yön değişimini belirleyen sistemlerdir. Literatürde farklı türden birçok jiroskop yapısı önerilmiştir. Bunlardan başlıca olanlar ring lazer jiroskop (RLG), mekanik jiroskop (DTG), mikro elektromekanik (MEMS) jiroskop ve fiberoptik jiroskop yapısıdır. Geliştirilen tüm jiroskoplar içinde fiberoptik jiroskop yapısı sağladığı yüksek hassasiyet, yüksek hız, darbe ve titreşime karşı dayanıklılığı ile öne çıkmaktadır (López-Higuera, 2002).

Fiberoptik jiroskop yapısı, açık döngü fiberoptik jiroskoplar (ADFOJ) ve kapalı döngü fiberoptik jiroskoplar (KDFOJ) olmak üzere iki farklı yapılandırmada tasarlanabilir. Sağladığı yüksek hassasiyet ve sunduğu geniş ölçüm aralığı KDFOJ'nin dikkat çeken önemli bir özelliğidir.

Fiberoptik jiroskopların çalışma prensibi Sagnac etkisine dayanır. Sagnac (1913) tarafından ilk kez ortaya atılan bu etki jiroskop yapısının temelini oluşturmaktadır. Sagnac etkisi kapalı bir yol üzerinde birbirlerine zıt yönlerde ilerleyen iki ışık demeti arasındaki faz farkına sebep olur. Bu faz farkından yola çıkılarak sistemin açısal hızdaki değişim miktarı belirlenebilir. ADFOJ'den farklı olarak, KDFOJ'de Sagnac etkisinden kaynaklanan faz farkı geri beslemeli kontrolcü ile belirlenir ve sistemin denge durumunda çalışmasını sağlayacak kontrol işareti üretilerek faz modülatörüne uygulanır. Böylece sistemin sıfır dönme durumuna yakın çalışması amaçlanmaktadır. Sagnac etkisi ve kontrol işareti ile sisteminin dengede çalıştırılması kontrolcü yardımı ile gerçekleştirilir.

Sagnac etkisine dayalı ilk jiroskop Rosenthal (1962) tarafından önerilen ring lazer jiroskoptur. Ring lazer jiroskop ışık demetlerinin bobin içerisinde birden fazla kez döndürülmesiyle ölçüm hassasiyetinin artırılmasını sağlamıştır. Geliştirilen ring lazer jiroskop sisteminin sağladığı yüksek hassasiyet ile jiroskop sistemleri önem kazanmış ve böylece yeni geliştirilecek optik jiroskop sistemlerine ışık tutmuştur. İlerleyen süreçte Howe ve Savet (1964) tarafından mekanik jiroskop (DTG) yapısı, Vali ve Shorthill (1976) tarafından fiberoptik jiroskop (FOG) yapısı ve Piyabongkarn vd. (2005) tarafından mikro-elektromekanik sistem (MEMS) yapıları geliştirilmiştir.

Kapalı döngü bir fiberoptik jiroskop sistemi için kontrolcü tasarımı önemli bir aşamadır. KDFOJ sistemlerinin geri besleme döngüsünü kontrol etmek için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan başlıcaları PID kontrolcü, serrodin modülasyonu ve FPGA tabanlı kontrolcü olarak sıralanabilir.

Navruz vd. (2017) tarafından ADFOJ tasarımından yola çıkarak geri besleme döngüsündeki hata sinyalini kompanze eden bir KDFOJ sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sun vd. (2013) tarafından kapalı KDFOJ sisteminin minyatürleştirilmesi ve geri besleme döngüsünün kontrolü için FPGA tabanlı bir KDFOJ yapısı geliştirilmiştir. Babu vd. (2016) ADFOJ'nin yanı sıra basit yapılı bir kontrolcü ile KDFOJ'yi MATLAB Simulink ortamında teorik olarak modellemişlerdir. Hotate ve Harumoto (1997) tarafından gürültüyü azaltacak serrodin modülasyona sahip bir fiberoptik jiroskop sistemi geliştirilmiştir. Jin vd. (2013) tarafından fiberoptik jiroskobun dinamik aralığını ve doğrusallığını iyileştirmek için serrodin modülasyonu önerilmiştir. Ayrıca faz modülatörü olarak $LiNbO_3$ faz modülatörü kullanılmıştır José Pérez vd. (2016) tarafından sinüzoidal faz modülasyonu ile kapalı döngü konfigürasyonlu serrodin modülasyonuna dayanan başka bir interferometrik fiberoptik jiroskop yapısı geliştirilmiştir. Ölçüm hassasiyeti düşük olmasına rağmen maliyet bakımından büyük ölçüde tasarruf sağlanmıştır. Pogorelaya vd. (2017) tarafından yayımlanan makalede KDFOJ yapısının geri besleme döngüsünü kontrol etmek için PID kontrolcüsü geliştirilmiştir. Fiberoptik jiroskobun transfer fonksiyonu belirlenerek analitik bir yol ile PID kontrolcünün en uygun K_p, K_i *ve* K_d katsayıları hesaplanmıştır.

Tasarlanacak kontrolcünün, Sagnac etkisinden kaynaklanan faz farkını hızlı bir biçimde takip ederek, faz modülatörüne uygulanacak kontrol işaretini yüksek hassasiyette üretmesi beklenmektedir. Geri beslemeli kontrol sistemi içeren uygulamalarda kontrol katsayılarının belirlenmesi, sistem tasarımının en kritik aşamalarından biridir. Bu çalışmada KDFOJ sistemi için, K_p, K_i *ve* K_d kontrol katsayılarının belirlenmesinde ilk defa yerçekimi arama (YA) algoritması kullanılmıştır. YA algoritması kullanan KDFOJ'nin sentezi ve test sonuçları MATLAB/SIMULINK programı ile gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kapalı Döngü Fiberoptik Jiroskop Sistemi

KDFOJ sisteminin temelini Sagnac etkisi oluşturmaktadır. Sagnac etkisinin anlaşılabilmesi için ilk olarak tek sarımlı ve r yarıçaplı bir fiber bobin ele alınır. Tek sarımlı ve *r* yarıçaplı fiber bobinin her iki ucuna, bir -3dB bağlaştırıcı yardımıyla aynı anda birbirlerine zıt yönlerde ilerleyen iki ışık dalgası gönderilir. Bobinin hareketsiz olduğu durumda ışık demetleri çıkışa aynı sürede varacağından bu ışık dalgalarının çıkışa varış süreleri,

$$t = \frac{2\pi r}{c} = \frac{L}{c} \tag{1}$$

şeklinde ifade edilir, burada c ışık hızı L ise ışığın aldığı yoldur.

Fiber bobin belirli bir açısal hız ile döndürüldüğünde ışığın fiber bobine giriş ve çıkış pozisyonları değişeceğinden, zıt yönlerde ilerleyen ışık demetleri çıkışa farklı zamanlarda ulaşacaklardır.

Zıt yönlerde ilerleyen iki ışık demeti arasındaki zaman farkı;

$$\Delta t = t_{cw} - t_{ccw} = \frac{LD\Omega}{c^2} \tag{2}$$

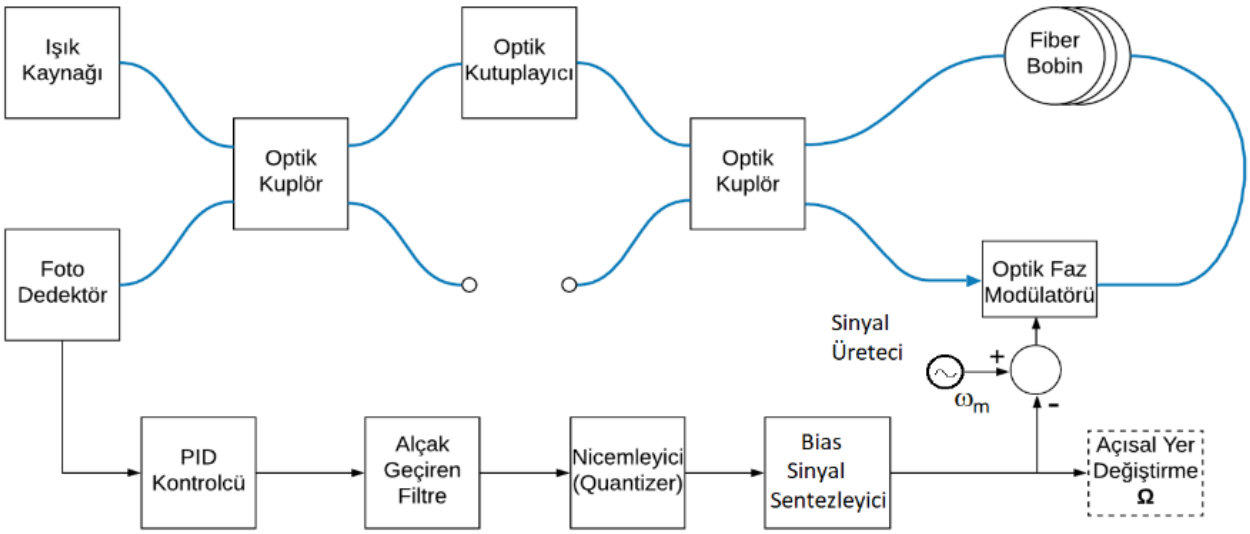
ile ifade edilir. Burada D=$2r$ fiber çapı ve L=$2\pi r$ ışığın tek sarımlı fiber bobinde alacağı yoldur. t_{cw} saat yönünde ilerleyen ışığın, t_{ccw} ise saat yönünün tersi yönünde ilerleyen ışığın çıkışa ulaşma süreleridir.

Fiber bobinin sarım sayısını artırmak ışık demetlerinin ilerleyeceği optik yolu artıracaktır. N sarımlı bir fiber bobin için ışık demeti N kat daha fazla yol alır ve buna bağlı olarak da Sagnac faz farkı artar. Böylece fiberoptik jiroskobun duyarlılığı artırılmış olur ve ışığın aldığı yol L=$2\pi rN$ şeklinde ifade edilir.

Δt zaman farkının, açısal frekansı ω=$2\pi f$ olan bir sürekli dalga için oluşturacağı Sagnac faz farkı,

$$\Phi_s = \frac{2\pi LD\Omega}{\lambda c} \tag{3}$$

ile hesaplanabilir. Şekil 1'de KDFOJ'nin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 1. KDFOJ Sisteminin Blok Diyagramı

Fiber bobin döndürüldüğünde bir faz kayması meydana gelir. Oluşan faz kayması (Sagnac etkisi) fotodedektör tarafından algılanarak sinüzoidal değişen bir çıkış işareti üretilir. PID kontrolcü Sagnac etkisini kompanze eden bir işaret üretir. Böylece Sagnac etkisi giderilirken aynı zamanda faz kaymasından kaynaklanan açısal hız değişim bilgisi de elde edilir.

PID kontrolcünün çıkışında üretilen işaret bir alçak geçiren filtreden geçirilir. Daha sonra bu işaret, bir nicemleyici yardımı ile kuanta seviyelerine dönüştürülerek faz modülatörüne uygulanır. Bu aşamada PID kontrolcü Sagnac etkisini kompanze ederek sistemi dengede çalışmaya zorlar. Şekil 1'deki sistemin fotodedektör çıkış işareti,

$$P_d = 0.5P_0(1 + \cos(\Delta\Phi_s(t) - \Delta\Phi_m(t)) \tag{4}$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlikteki $\Delta\boldsymbol{\Phi_s(t)}$ Sagnac faz kaymasını ve $\Delta\boldsymbol{\Phi_m(t)}$ ise faz modülasyonundaki bias faz değişimini gösterir. Sinüs biçimli bias faz modülasyonu $\boldsymbol{\Phi_m(t)}$ Eş. 5' ile ifade edilebilir.

$$\Phi_m(t) = \Phi_0 \sin(\omega_m t) \tag{5}$$

Burada $\omega_m=2\pi f_m$ olup f_m modülasyon frekansıdır. Jiroskop sisteminin fiziksel dönmesi neticesinde oluşan Sagnac faz kaymasına ilave olarak faz modülasyonundan dolayı bias faz değişimi meydana gelecektir. Bias faz değişimi $\Delta\boldsymbol{\Phi_m(t)}$ Eş. 6 ile hesaplanabilir.

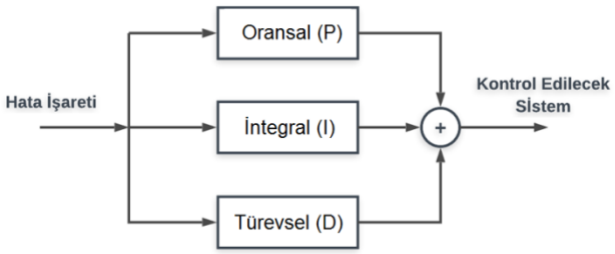
$$\Delta\Phi_m(t) = \Phi_0[\sin(\omega_m t) - \sin(\omega_m t - \omega_m \tau)] \tag{6}$$

Jiroskop bobininde iki zıt yönde dolanan ışıktan biri t zamanında modülatörden geçerken t-τ anında diğer ışık ile modülatörde karşılaşır. Burada $\tau=NL/c$ ışığın fiber bobini dolanma süresidir. Çalışmada gerçekleştirilen kapalı döngü jiroskop tasarımında, fiber bobinin çevre uzunluğu L=50 cm, sarım sayısı N=2000, faz modülasyonu için uygulanan osilatörün frekansı f_m=90 kHz ve ışığın dalgaboyu ise telekom fiberlerde sıklıkla tercih edilen ve zayıflamanın en az olduğu dalgaboyu olan λ=1550 nm olarak belirlenmiştir.

2.2. PID Kontrolcü Tasarımı

Kapalı döngü kontrol sistemlerinde, tasarlanan sisteme uygun bir kontrolcü seçimi yapılmalıdır. Uygulanabilirliği, yüksek hassasiyeti, tepkime süresi ve gürültüye karşı duyarlılığı gibi sağladığı avantajlardan dolayı PID kontrolcü, son yıllarda en yaygın kullanılan kontrolcü türüdür.

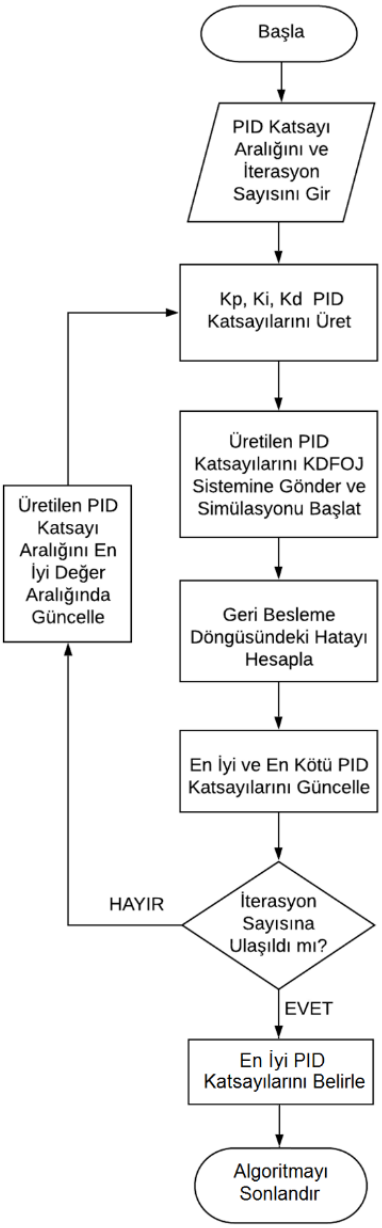
PID kontrolcü sırasıyla oransal, integral ve türevsel katsayıları ifade eden K_p, K_i ve K_d parametrelerini içermektedir. Bu parametrelerin doğru seçimi, bir geri beslemeli kontrol sistemi için oldukça önemlidir. Şekil 2'de bir PID kontrolcünün temel yapısı görülmektedir.



Şekil 2. PID Kontrolcünün Blok Diyagramı

Bir PID kontrolcünün hata işaretini minimize edebilmesi için K_p, K_i ve K_d katsayılarının en uygun değerlerde belirlenmesi gerekir. PID katsayılarını belirleyecek bu yöntem, kontrol edilecek sistemin niteliğine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Geri beslemeli kontrol sistemleri için PID parametrelerinin tespit edilmesinde, öz-uyarlamalı ayarlama, açık ve kapalı döngü Ziegler-Nichols metodu (Meshram & Kanojiya, 2012, Alavi vd., 2012), bulanık mantık algoritmaları, Cohen-Coon methodu (Azman vd., 2017), Chien Hrones Reswick methodu (Hambali vd., 2014) ve yerçekimi arama algoritması gibi bir çok yöntem mevcuttur. PID katsayılarını belirleme aşamasında bazı sistemler için YA algoritması kullanılmasına rağmen literatürde YA algoritmasına dayalı kapalı döngü fiberoptik jiroskobu tasarımı bulunmamaktadır. Bu çalışmada bir KDFOJ sisteminin geri besleme döngüsünü kontrol edecek PID katsayılarını belirlemek için ilk defa YA algoritması kullanılmıştır.

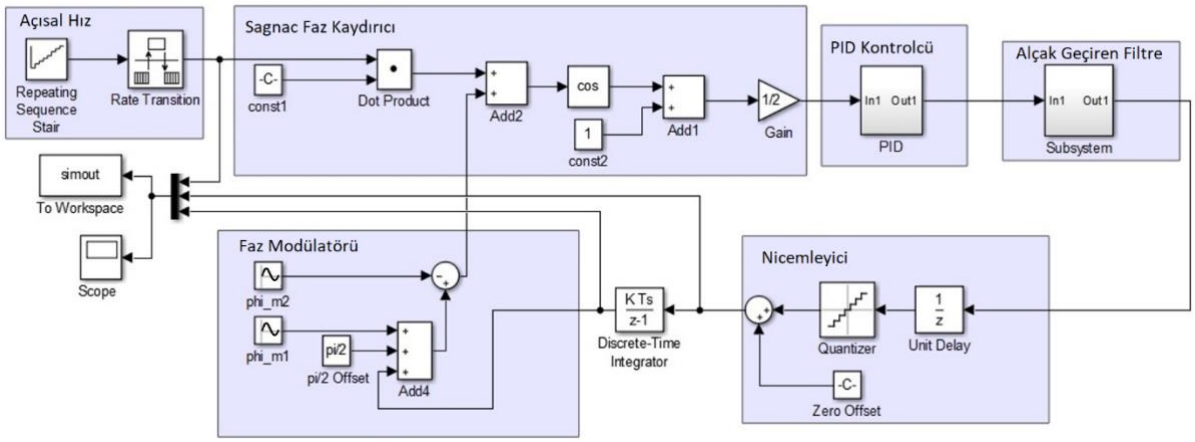
2.3 Yerçekimi Arama Algoritması ve Sistem TasarımıYA algoritması Newton'un yerçekimi yasasına dayanmaktadır. Newton'un yerçekimi yasasına göre evrendeki her bir parçacık, diğer tüm parçacıkları kütleleri ile doğru orantılı ve aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı bir güçle çeker. YA algoritması ilk olarak Rashedi vd. (2009) tarafından literatüre kazandırılmıştır. YA algoritmasında, problemin çözümü için PID parametreleri birer kütle olarak kabul edilir. Sistem kütlelerin ağırlıkları oranında etkileşim içerisindedir. Bu durum kütleler arası bilgi alışverişini mümkün kılmaktadır. Yerçekimi arama algoritması akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yerçekimi Arama Algoritması Akış Şeması

YA algoritması çalıştırılmadan önce ilk olarak başlangıç ve durdurma kriterlerinin seçilmesi gerekir. Kütle olarak seçilecek değer sayısı, bu kütlelerin ağırlık aralığı ve her bir iterasyon sayısı için algoritmanın üreteceği değer sayısı başlangıç koşulu olarak seçilmiştir. İterasyon sayısı ise algoritmanın durdurma kriteri olarak belirlenmiştir. Başlangıç ve durdurma kriterlerinin belirlenmesinin ardından algoritma koşturulur. Başlangıçta her bir PID katsayısı için belirlenen ağırlık aralığında, belirlenen sayıda değer üretilirek ilk iterasyon gerçekleştirilir. İlk iterasyonun bitiminde sistem hatası algoritma tarafından analiz edilerek en iyi ve kötü PID katsayı aralığı belirlenir ve algoritma içerisindeki ağırlık aralığı belirlenen en iyi PID katsayı aralığına göre güncellenerek ikinci iterasyona geçilir. Durdurma koşulunu sağlayacak iterasyon sayısına ulaşılıncaya kadar bu işlem her bir iterasyon sayısı için tekrar tekrar gerçekleştirilir. Aralığın sürekli güncellenmesi ile en iyi sonucu verecek PID katsayıları hassas bir şekilde belirlenir.

Tasarlanan KDFOJ sisteminin Simulink modeli Şekil 4'de verilmiştir. Sistemi test etmek için belirli adımlarla artan bir açısal hız değişimine karşılık gelen basamaklı bir fonksiyon uygulanmıştır. Bu fonksiyonun tanımı Şekil 4'ün sol üst kısmındaki *Açısal Hız* bloğunda tanımlanmıştır. Fiberoptik jiroskop sisteminin optik kısmında meydana gelen faz kaymaları $(\Delta\Phi_s(t)\,,\ \Delta\Phi_m(t))$ *Sagnac Faz Kaydırıcı* bloğu içerisinde modellenmiştir. Dedektör çıkışında üretilen elektriksel işaret toplayıcı öncesinde sırasıyla *PID Kontrolcü*, *Alçak Geçiren Filtre*, *Nicemleyici* ve *Faz Modülatörü* içeren geri besleme döngüsüne uygulanmaktadır. Faz Modülatör bloğundaki *phi_m1* ve *phi_m2* işaretleri Eş. 6 ile verilen ifadedeki sinüs biçimli osilatörleri sentezlemek için kullanılmıştır. Maksimum açısal hız duyarlılığı için jiroskopun durağan durumda iken $\pi/2$ faz ötelemesini gerçekleyen "*pi/2 Offset*" değeri Faz Modülatörü bloğunda sağlanmıştır. Nicemleyici bloğundaki "*Zero Offset*" değeri jiroskobun durağan durumunda ürettiği DC seviyeyi sıfırlamak için uygulanmaktadır. Nicemleyici çıkışındaki hata işaretini minimize etmek için PID kontrolcünün katsayıları YA algoritması ile belirlenmiştir. Sistemin örnekleme zamanı $5\cdot10^{-7}$ olarak seçilmiştir.



Şekil 4. KDFOJ sisteminin Simulink modeli

PID kontrolcünün K_p, K_i ve K_d katsayıları YA algoritmasında birer kütle değişkenine karşılık gelmektedir. Bu katsayılarının tasarlanan geri beslemeli kontrol sisteminin karakteristiğine özgü uygun bir aralıkta sınırlandırılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada, bir KDFOJ sistemi için PID katsayılarının sırasıyla [0, 1], [0, 1] ve [0, 10^{-5}] aralıklarında değişebileceği öngörülmüştür. Algoritmanın başlangıcında her bir PID katsayısı için belirlenen aralıkta rastgele 50 farklı değer üretilmiş ve ilk iterasyon için algoritma koşturulmuştur. Algoritma 10, 25, 50, 75 ve 100 iterasyon sayılarında koşturularak elde edilen PID katsayıları Tablo 1'de sunulmuştur.

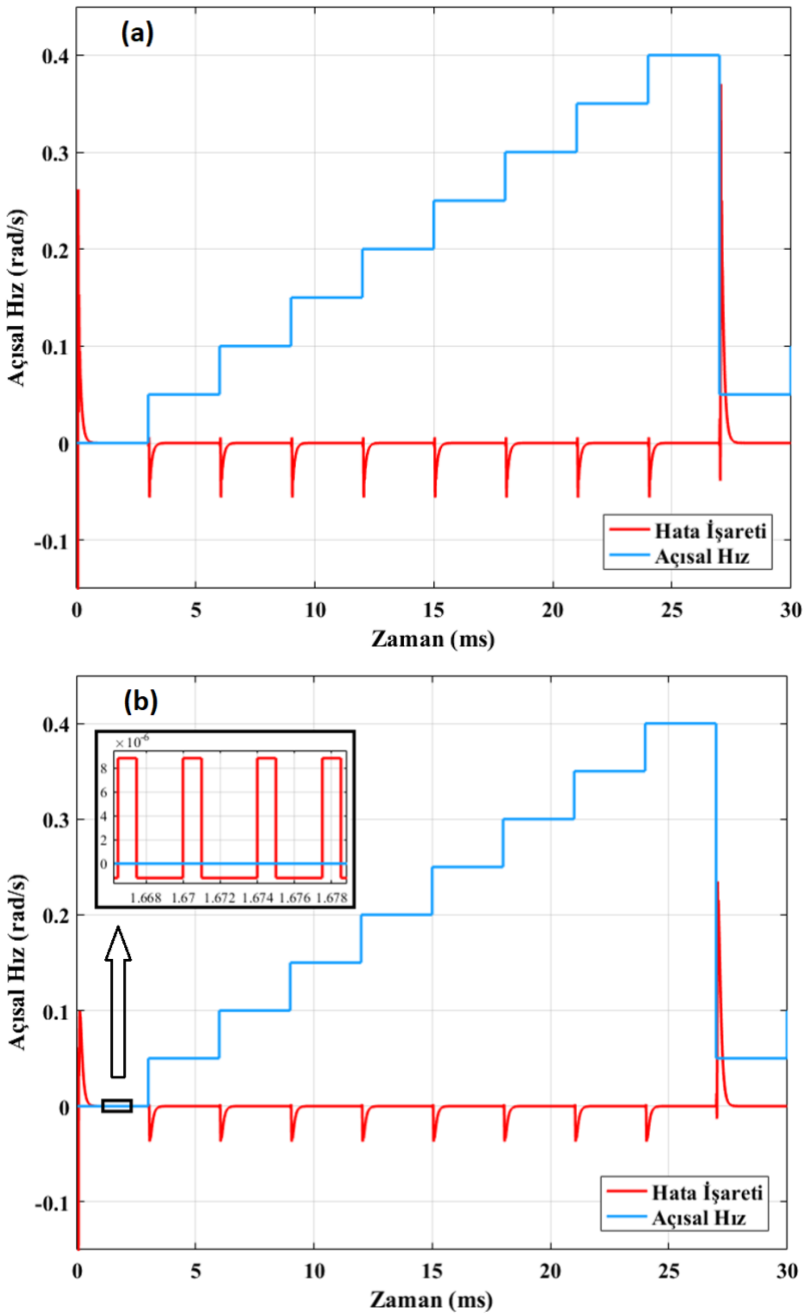
Tablo 1. YA Algoritması Sonucu Elde Edilen PID Katsayıları

İterasyon Sayısı	**10**	**25**	**50**	**75**	**100**
K_p	0.67244	0.66336	0.62432	0.65883	0.65636
K_i	0.27586	0.12478	0.01372	0.04568	0.06292
K_d	$8.84070 \cdot 10^{-6}$	$8.28791 \cdot 10^{-6}$	$1.99555 \cdot 10^{-6}$	$7.48106 \cdot 10^{-6}$	$7.20027 \cdot 10^{-6}$
Ortalama Hata	228.8147	228.3536	226.1376	225.7441	224.1979

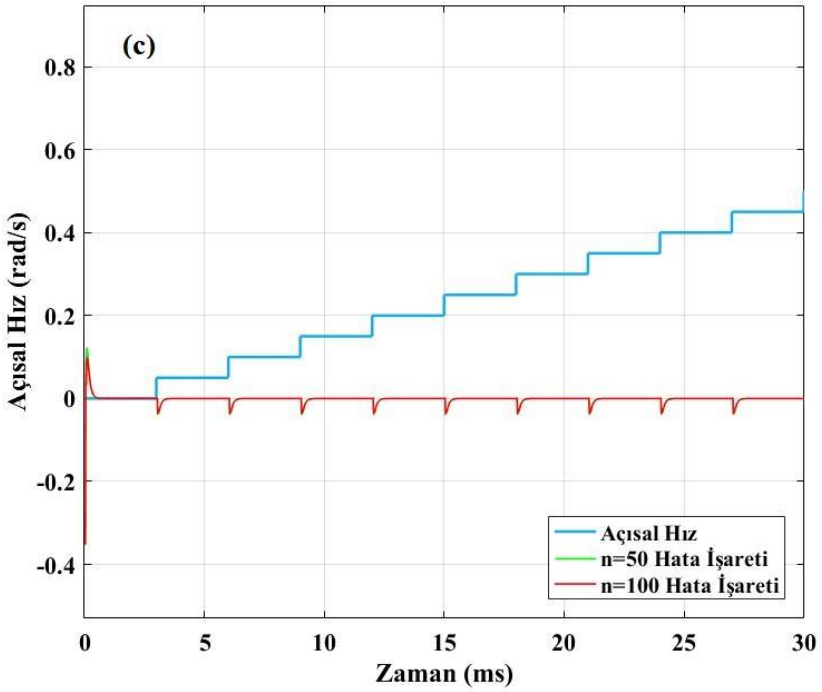
3. Bulgular

YA algoritması, akış şemasında da görüldüğü gibi sonlandırma işlemi iterasyon sayısı ile kontrol edilmiştir. Algoritma, iterasyon sayısı arttıkça hesaplanan PID katsayıları hata işaretini minimize edebilecek en uygun değerlere yakınsak sonuçlar üretmektedir. İterasyon sayısının fazlaca yüksek belirlenmesi hata sinyalinin azaltılmasında önemli bir katkı sağlamadığı gibi simülasyon süresini de uzatmaktadır. Şekil 5.c' de, 50 ve 100 iterasyon sayısı ile hesaplanan PID katsayılarına karşılık gelen simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Her iki iterasyon sayısı için elde edilen hata işaretleri ve açısal hız işaretleri hemen hemen aynı kalmaktadır. Yapılan denemelerde, tasarlanan jiroskop sistemi için PID katsayılarını belirleme işleminde hata sinyalini yeterince minimize edilebilecek iterasyon sayısının 50 seçilmesi yeterli olduğu tespit edilmiştir. İterasyon sayısın 50' den büyük seçilmesi, PID katsayılarının belirlenmesi işleminin gereğinden uzun sürmesine neden olacaktır. Şekil 5.a ve 5.b' de, sırasıyla 10 ve 50 iterasyon sonucunda üretilen hata işaretlerinin ve jiroskop girişine uygulanan açısal hızın, 30 ms boyunca zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 5' de jiroskop düzeneğinin dönmesiyle oluşan Sagnac faz kaymasının kısa sürede kompanze edildiği açıkça görülmektedir. Tasarlanan kontrol sisteminde, açısal hızın 0.05 rad/s (2.8648°/s)' lik ani değişimine karşılık 10 iterasyon ile belirlenen PID kontrol sisteminde 0.057 rad/s genlikli bir ani hata işareti oluşurken, 50 iterasyonla bu genliğin 0.037 rad/s ye düştüğü gözlenmiştir. Bu hata işaretinin sıfırlanarak sistemin sıfır faz dengesine getirilmesi ise yaklaşık 0.96 ms sürmektedir. Açısal hızdaki 0.35 rad/s' lik anlık bir hız değişiminin olduğu t=27 ms anında ise sisteminin 0.235 tepe genliğinde oluşan hata işaretini sıfır faz dengesine getirmesi yaklaşık 1.1 ms sürmektedir.



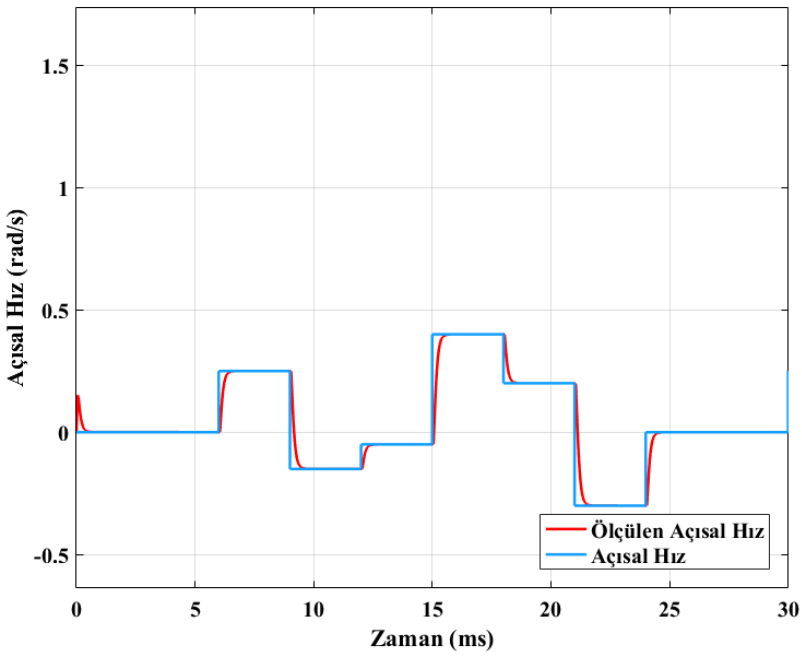
Şekil 5. Farklı iterasyon sayıları için jiroskop sisteminin cevabı **(a)** n=10; **(b)** n=50; **(c)** n=50 ve n=100



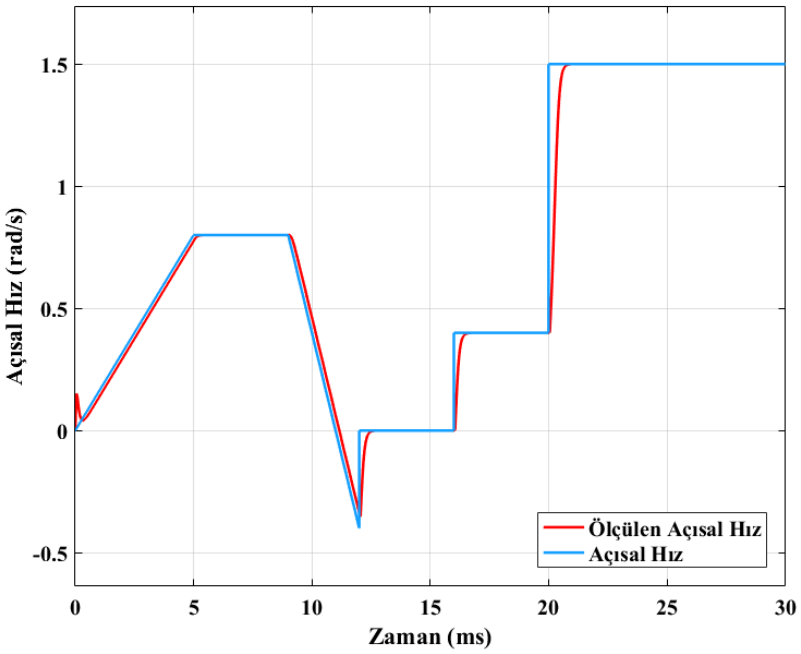
Şekil 5 (devam). Farklı iterasyon sayıları için jiroskop sisteminin cevabı **(a)** n=10; **(b)** n=50; **(c)** n=50 ve n=100

Sisteme verilen iki farklı açısal hız değişimine karşılık jiroskoptan ölçülen açısal hız değişim işaretleri Şekil 6 ve 7' de gösterilmiştir. Şekil 6' da, pozitif ve negatif yönde basamaklı değişken rastgele bir açısal hız değişimine karşılık jiroskoptan ölçülen hız bilgisi karşılaştırılmıştır. Şekil 7' de ise yine pozitif ve negatif yönde rampa ve basamaklı değişken bir açısal değişimine karşılık sistemin ölçüm cevabı gösterilmektedir. Her iki grafikten de görüleceği üzere ölçülen hız bilgisinin, sisteme uygulanan mekanik dönü hareketini ifade eden açısal hız işaretini her iki yönde de yakından takip edebildiği anlaşılmaktadır. Sistemin geri besleme kolunda yer alan nicemleyici adım sayısının artırılmasıyla, sisteme uygulanan açısal hız ile ölçülen açısal hızın örtüşümü daha da iyileştirilebilir.

KDFOJ sistemlerinin performansında önemli ölçütlerden birisi de zero-bias testidir. Bu testte sistemin durağan hali yani girişine 0 rad/s açısal hız verilerek geri besleme döngüsü işareti test edilir. Zero-bias testinde sistemin geri besleme döngüsünden elde edilen işaretin hata değerinin sıfıra yakın bir değer olması beklenmektedir. Bu çalışmada tasarlanan KDFOJ sisteminin zero-bias cevabı, Şekil 5.b' de görüldüğü gibi sıfıra oldukça yakın bir değer olan $8.8 \cdot 10^{-6}$ rad/s olarak belirlenmiştir.



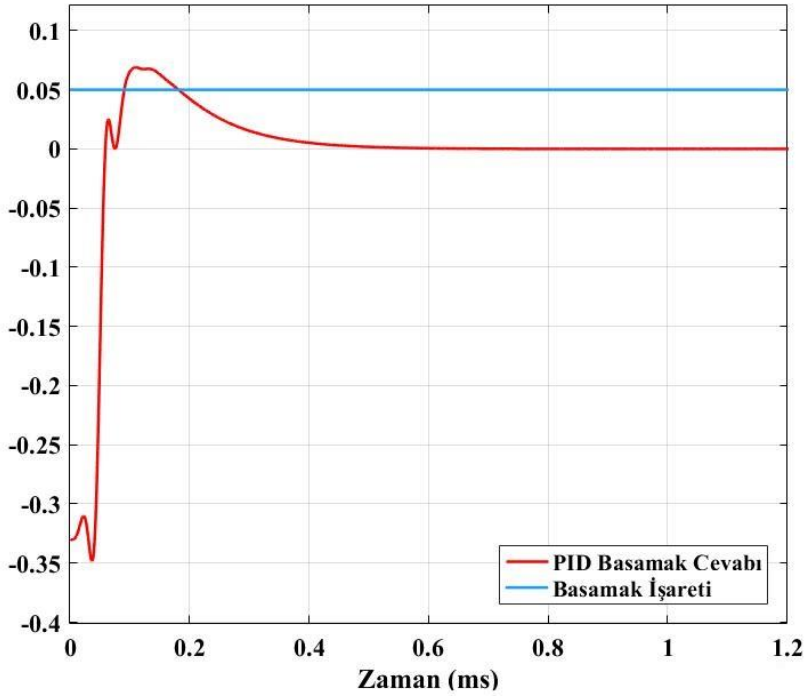
Şekil 6. Jiroskop Sisteminin Basamaklı Değişen Açısal Hız Takibi



Şekil 7. Jiroskop Sisteminin Basamaklı ve Rampa Değişen Açısal Hız Takibi

Yapılan analizler sonucunda tasarlanan kapalı döngü fiberoptik jiroskop düzeneğinin ani açısal hız değişimlerine hızlı cevap verdiği söylenebilir. Örneğin, Şekil 7'de 16. ms' de oluşan 0.4 rad/s ani açısal hız değişiminde yaklaşık 0.7 ms' lik ve 20. ms' de oluşan1.1 rad/s ani açısal hız değişiminde ise yaklaşık 0.8 ms takip süresiyle sistemin hızlı cevap verdiği açıkça görülmektedir. Açısal hızın rampa veya basamak değişken farklı dönüş hızları için sistemin doğrusal ilişkili yüksek hassasiyetli çıkış işareti ürettiği Şekil 6 ve 7' de gösterilmiştir.

Kontrol sistemlerinin performansını belirlemede bir diğer önemli ölçüt ise sistemin basamak cevabıdır. Maksimum aşım ve yerleşme zamanı basamak cevabının başlıca kriterleridir. Şekil 8' de KDFOJ sistemi için tasarlanan PID kontrolcünün, sistem girişine uygulanan 0.05 rad/s'lik basamak işaretine karşılık elde edilen cevabı görülmektedir. Tasarlanan PID kontrolcünün maksimum aşım miktarı 0.069 birim genlik değerindedir. Yerleşme zamanı ise yaklaşık 0.5 ms olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. PID Kontrolcünün Basamak Cevabı

4. Sonuç

Bu makalede kapalı döngü bir fiberoptik jiroskop sistemi tasarlanmış ve sistemin geri besleme döngüsü PID kontrolcü tarafından kontrol edilmiştir. PID kontrolcünün K_p, K_i ve K_d katsayılarını belirlemek için yerçekimi arama algoritmasından faydalanılmıştır.

İterasyon sayısının belirlenmesinden sonra basamaklı açısal hız değişimlerine karşı sistemin geri besleme kolunda meydana gelen hata işareti incelenmiştir. 0.05 rad/s' lik basamak açısal hız değişiminin neden olduğu hata işareti yaklaşık 1ms' de sıfır faz dengesine gelmektedir. Sistemden ölçülen açısal hızın, sisteme uygulanan açısal hızı başarıyla takip ettiği görülmektedir. Zero-bias testi için sıfır dönme (durağan) durumunda sistemin çıkış işareti gürültü düzeyinin $8.8 \cdot 10^{-6}$ rad/s ve altında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda PID ile kontrol edilen jiroskopun, 1ms' nin altında bir cevap süresinde ve 10^{-5} rad/s ölçüm hassasiyetinde açısal hızın ölçülebileceğini göstermiştir.

Referanslar

Alavi, M. M. R., Cavdar, T., Aghjehkand, V. F. (2012). Particle Swarm Optimization - Based Determination of Ziegler-Nichols Parameters for PID Controller of Brushless DC Motors. IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, Trabzon, Turkey. doi: 10.1109/INISTA.2012.6246984

Azman, A. A., Rahiman, M. H. F., Mohammad, N. N., Marzaki, M. H., Taib, M. N., Ali M. F.(2017). Modeling and Comparative Study of PID Ziegler Nichols (ZN) and Cohen-Coon (CC) Tuning Method for Multi-Tube Aluminum Sulphate Water Filter (MTAS). . Proc. of the 2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems. doi: 10.1109/I2CACIS.2017.8239027

Hambali, N., Masngut, A., Ishak, A. A., Janin, Z. (2014). Process Controllability for Flow Control System Using Ziegler-Nichols (ZN), Cohen-Coon (CC) and Chien-Hrones-Reswick (CHR) Tuning Methods. Proc. of the 2014 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA). doi: 10.1109/ICSIMA.2014.7047432

Harish Babu, G., Venkata Anuhya A., Venkatram, N. (2016). Digital Signal Processing Scheme for Open Loop and Closed Loop IFOG using MATLAB/SIMULINK. Indian Journal of Science and Technology, 9(11),1-10. doi: 10.17485/ijst/2016/v9i11/86935

Hotate, K., Harumoto, M. (1997). Resonator Fiber Optic Gyro Using Digital Serrodyne Modulation. Journal of Lightwave Technology, 15(3), 466-473. doi: 10.1109/50.557562

Howe, E. W., Savet, P. H. (1964). The Dynamically Tuned Free Rotor Gyro. Control Engineering, 11(6), 67-72.

Jin, Z., Yu, X., Ma, H. (2013). Closed-Loop Resonant Fiber Optic Gyro with An Improved Digital Serrodyne Modulation. Optical Society of America, 21(22), 26578-26588. doi: 10.1364/OE.21.026578

López-Higuera J. M. (2002), Handbook of Optical Fibre Sensing Technology, Chippenham, Wiltshire, UK., John Wiley & Sons Ltd.

Meshram, P. M., Kanojiya, G. (2012). Tuning of PID Controller using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor. International Conference on Advances in Engineering, Science and Management, ICAESM -2012.

Navruz, I., Ari, F., Şerbetçi, H. (2017). Design and Analysis of a Closed-Loop Fiberoptic Gyroscope. I. International Scientific and Vocational Studies Congress-2017, Turkey, 480-485.

Pérez, R. J., Álvarez, I., Enguita J. M. (2016). Theoretical Design of a Depolarized Interferometric Fiber-Optic Gyroscope (IFOG) on SMF-28 Single-Mode Standard Optical Fiber Based on Closed-Loop Sinusoidal Phase Modulation with Serrodyne Feedback Phase Modulation Using Simulation Tools for Tactical and Industrial Grade Applications. Sensors, 16(5), 1-19. doi: 10.3390/s16050606

Piyabongkarn, D., Rajamani, R., Greminger, M. (2005). The Development of a MEMS Gyroscope for Absolute Angle Measurement. IEEE Trans. Cont. Syst. Tech., 13(2): 185-195. doi:10.1109/TCST.2004.839568

Pogorelaya, D. A., Smolovik, M. A., Volkovskiy, S. A., Mikheev, M. A., Aleynik, A. S., Strigalev, V. E. (2017). Adjustment of PID Controller in Fiber-Optic Gyro Feedback Loop. Gyroscopy and Navigation, 8(3), 235–239.

Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., (2009). A Gravitational Search Algorithm. Information Science, 179(13), 2232-2248. doi: 10.1016/j.ins.2009.03.004

Rosenthal, A. H. (1962). Regenerative Circulatory Multiple-Beam Interferometry for the Study of Light Propagation Effects. J. Opt. Soc. Am., 52(10), 1143-1147. doi:/10.1364/JOSA.52.001143

Sagnac, G. (1913). L'éther lumineux démontré par l' effet du vent relative d' eth-er dans un interferometer en rotation uniforme. Compte-rendus de l'Académie des Sciences, 95, 708-710.

Sun, Q. D., Zhu, Z. H., Larouche, B. P. (2013). FPGA-Based Hardware Design of Closed Loop Control for Fiber Optic Gyroscope. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 51(1), 121-128.

Vali, V., Shorthill, R. W. (1976), Fiber Ring Interferometer, Appl. Opt., 15(5):1099-1100. doi:10.1364/AO.15.001099