

ROBOTİK UYGULAMALAR İÇİN LAZER TABANLI HABERLEŞME VE TANILAMA SİSTEMİ TASARIMI

Davut AKDAŞ¹, Poyraz Alper ÖNER²

¹davut_akdas@yahoo.co.uk Balıkesir Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Böl., 10145 Balıkesir

²alper_oner@yahoo.com Astsubay Meslek Yüksek Okulu, Teknik Bilimler Bölümü, Elektronik
Haberleşme Teknolojisi Grubu, 10100 Balıkesir

ÖZET

Bu çalışmada, robotlar arasında hızlı ve güvenilir bir bilgi iletimi sağlamak için, lazer tabanlı bir haberleşme ve tanılama sistemi (FSO-Lasercom / IFF– Free Space Optical Communications - Laser Communication / Identification Friend or Foe System) tasarlanmış, elektronik devre ve optik anten tasarımı yapılmış, donanım için gerekli yazılımlar geliştirilmiş ve sistem imal edilmiştir.

Lasercom / IFF sistemi; alıcı ve verici olmak üzere iki temel üiteden oluşmaktadır. Verici ünitesinde; mikrodenetleyici tabanlı, klavye ile mesaj girişi yapılabilen, kullanıcının koordinatlarını küresel konumlama sistemi (GPS – Global Positioning System) yardımıyla algılayabilen bir donanım bulunmaktadır. Alıcı ünitesinde; mevcut lazer iletişim tekniklerinden farklı bir yaklaşımla, polimetilmekatriolat malzemesinden ve algılayıcıdan imal edilen optik bir anten geliştirilmiştir

Sistemde bilgi iletiminin lazer ile yapılması güvenliği en üst düzeye çıkarmış; bastırma, karıştırma gibi karşı elektronik tedbirlerden etkilenmemesini sağlamıştır.

Anahtar Sözcükler: Robotik, Haberleşme, Lasercom, IFF, FSO

ABSTRACT

In this study, a laser based communication and identification system to provide a fast and secure communication between robots (FSO-Lasercom / IFF – Free Space Optical Communications – Laser Communication / Identification Friend or Foe System) has been designed, its electronic circuit and optical antenna has been made, necessary software for the hardware has been developed and system has been built.

Lasercom / IFF system consists of two basic units as transmitter and receiver. The transmitter unit has a hardware which is microcontroller based, can be entered messages via keyboard and can detect user's coordinates using GPS – Global Positioning system. In the receiver unit an optical antenna which is made with a different approach from current laser communication techniques from polymethylmethacrylate material and sensor has been developed.

Using laser for data communication has made the security top level and prevented it from being affected from counter-electronics measures like suppressing or jamming.

Keywords: Robotics, Communication, Lasercom, IFF, FSO

1. GİRİŞ

Robotik uygulamalarda, özellikle birden fazla robotun kullanıldığı uygulamalarda karşımıza çıkan en önemli unsur haberleşme yeteneği ve bilgi güvenliği olmaktadır. Özellikle savunma sanayinde kullanılacak robotlar arasındaki haberleşme sistemlerinde bilgi güvenliğinin sağlanması hayati öneme sahip olmaktadır.

IFF, ikinci dünya savaşı zamanında gerekliliği anlaşılmış ve adı konulmadan kullanılmaya başlanmış bir tanılama sistemidir. Alman pilotlar radar operatörlerine kendilerini tanıtabilmek için, herhangi bir radar sinyali aldıklarında, uçaklarıyla kendi etrafında dönüyorlardı. Pilotların yapmış olduğu dönüş hareketi, radar yankısında kırılmaya sebep oluyordu. Bu sayede radar operatörü hedefin kendi kuvvetinden olduğunu anlayabiliyordu. İlk işlevsel IFF setleri Watson Watts tarafından 1939 'da patentlenip tanıtılmıştır. Bu setler özel alıcılar içeriyordu. Yerden gelen sinyalleri saptayabilen bu setler, aynı frekansta fakat gelen sinyalden çok daha güçlü ve farklı kodlanmış bir sinyal yaratıp, geri gönderiyordu [1].

Lazer teknolojisindeki gelişmeler haberleşme anlayışını da etkilemiş ve iletişimin lazer kullanılarak gerçekleşmesi yönünde yeni cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar FSO (free space optical communications) olarak adlandırılmaktadır. Lazer ışığının modüle edilerek serbest ortamda (hava veya uzay boşluğu) alıcıya ulaştırılması prensibine dayanmaktadır. FSO cihazları gelişmiş ülkelerde, optik kablo döşenmesinin çok zor ve pahalı olacağı şehirlerde kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 1'de FSO cihazının genel görünüşü verilmiştir [2].

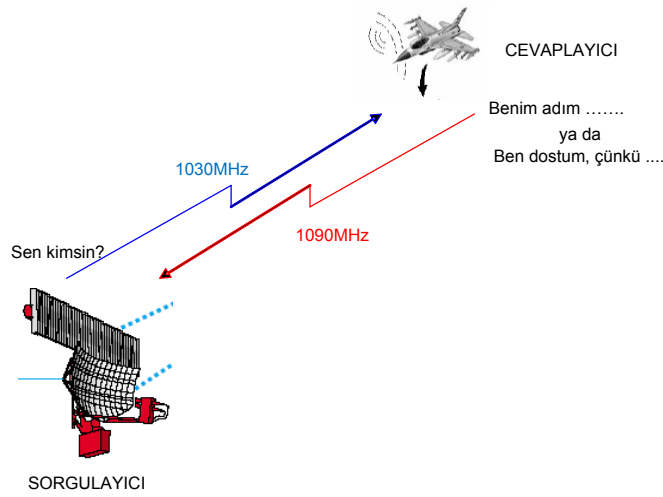


Şekil 1. Örnek FSO cihazları

Gelecekte askeri uygulamalarda robotların çok daha fazla kullanılacağı ve arazide robotlar arasında yaşanacak çatışmaların kaçınılmaz olduğu öngörülmektedir. Bu anlamda robotların dost mu düşman mı olduğu sorusu ve dost ise haberleşme sistemlerinin güvenilirliğinin sağlanması büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışma bu probleme çözüm getirme yönünde bir adım niteliğindedir.

2. IFF ve FSO-Lasercom Sistemleri

IFF, silahlı kuvvetlerde dost ve düşman tanıma, sivil havacılık ve denizcilik uygulamalarında trafik düzenlemesi amacıyla kimlik bilgilerini öğrenmeye yarayan elektronik bir sistemdir. IFF sisteminin işleyiş prensibi "sorgulama – yanıtlama" şeklinde özetlenebilir [3]. Bu durum Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 2 IFF bileşenleri

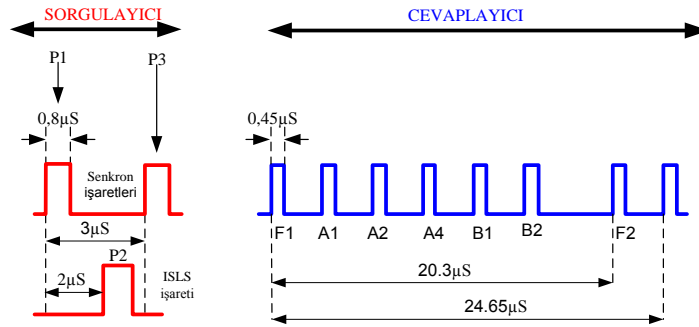
Şekil 2 'den de görüldüğü gibi günümüzde kullanılan IFF sistemlerinde iki bileşen bulunmaktadır. Bileşenlerden biri 1030 MHz 'de sorgulama sinyali üretirken öteki bileşen 1090 MHz 'de yanıt sinyali üretir [3]. Sorgulama (interrogator) sistemi ile sorgu tipi belirlenir ve buna uygun kod, 1030 MHz ile gönderilir. Bu sorgu kodunu alabilen bir hava platformu da aldığı koda uygun bir yanıt üretir ve 1090 MHz ile gönderir. Pek çok IFF sistemi radar sistemlerine entegre olarak çalışmaktadırlar.

IFF sistemlerinde sorgulama ve cevaplama için kullanılan kodlar belli bir sınıflamaya göre belirlenir. Tablo 2. 'de çeşitli IFF modlarına ait darbe genişlik süresi ile mod tanımları verilmiştir.

Tablo 1 IFF darbe genişlik süreleri

MOD TİPİ	DARBE SÜRESİ	MOD TANIMI
MOD 1	3 μ S	Görev bilgisi
MOD 2	5 μ S	Kuyruk numarası
MOD 3-A	8 μ S	Hava trafik kontrol bilgisi
MOD C	21 μ S	İrtifa bilgisi
MOD 4	0,5 μ S	Gizli
MOD 5	-	Gizli

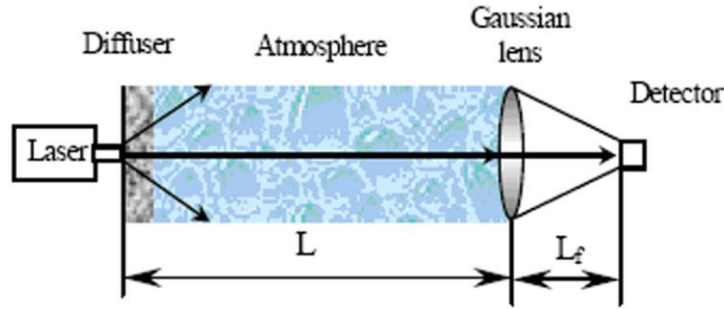
IFF Mod 1 için sorgulayıcı ve cevaplayıcıya ait haberleşme sinyallerinin yapısı Şekil 3 'de verilmiştir.



Şekil 3. Mod 1 sinyal yapısı

Sorgulayıcı tarafından P1 ve P3 olmak üzere 0,8 μ S genişliğinde ve 3 μ S periyodunda sinyal gönderilmektedir. Cevaplayıcı ise F1, A1, A2, A4, B1, B2 bilgilerini içeren cevap sinyalini 20,3 μ S genişliğinde göndermektedir. Her bir bilginin genişliği ise 0,45 μ S 'dir.

FSO cihazlarının prensibini gösteren yapı Şekil 4'te verilmiştir. Lazer kaynağından çıkan ışın modüle edilerek dağıtıcı ile atmosfere bırakılmakta ve bir lens sistemi yardımıyla algılayıcı üzerine düşürülmekte ve demodüle edilmektedir [4].



Şekil 4 FSO prensibi

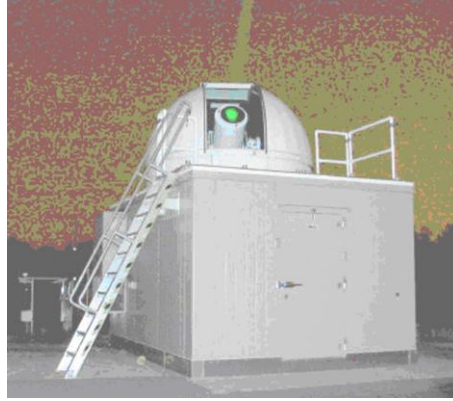
FSO sisteminin en önemli avantajı ise elektromanyetik spektrumu etkilememesi dolayısıyla lisans ve frekans tahsisi gerektirmemesidir [5]. FSO sistemi için en büyük dezavantaj ise atmosferik türbülans olayıdır. Lazer ışığının atmosferde zayıflaması ve türbülansa girmesi alıcıda sinyalin zayıflamasına ve sinyal gürültü oranının küçülmesine neden olmaktadır. Lazer ışığının atmosferde uğradığı zayıflamayı Beers-Lambert yasası ile bulabiliriz [6].

$$\tau(R) = \frac{P(R)}{P(O)} = e^{-\sigma R} \quad (1)$$

$\tau(R)$ = R mesafedeki transmittans
 $P(R)$ = R mesafedeki lazer gücü
 $P(O)$ = lazerin kaynaktan çıkış gücü
 σ = zayıflama katsayısı

Zayıflama katsayısı, açık hava için $\sigma = 0.1$ (0.43 dB/km); puslu hava için $\sigma = 1$ (4.3 dB/km) ve çok sisli hava için $\sigma = 10$ (43 dB/km) olarak belirlenmiştir [5].

FSO sistemleri NASA tarafından daha da geliştirilerek uydular ile yeryüzü istasyonları arasındaki haberleşmenin sağlanması ve hatta uydular ile askeri uçaklar arasındaki haberleşmenin sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu cihazlar lasercom (laser communication) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5'de NASA tarafından geliştirilen ve denemeleri yapılan SLR2000 cihazı görülmektedir [7].

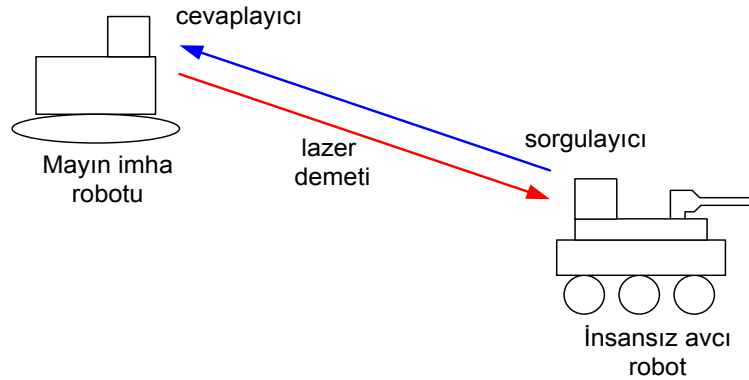


Şekil 5 SLR2000 lasercom cihazı

3. TASARLANAN FSO-LASERCOM / IFF SİSTEMİ

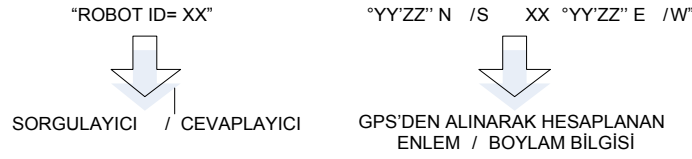
Mevcut IFF sistemleri radyo frekans temelli olarak çalışmakta ve daha ziyade hava taşıtları için kullanılmaktadır. Bu çalışma ile robotlar arasında haberleşme ve tanılamayı sağlayacak; radyo frekans tabanlı sistemlere alternatif olarak, lazer teknolojisi kullanılan bir Lasercom/IFF sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanarak gerçekleştirilen sistemin işleyişi Şekil 6 'da verilmiştir.

Sistemin birinci aşamasında sorgulayıcı tarafından, hedefe modüle edilmiş ve kriptolanmış bir "Ben.....birliğine bağlırobotuyum. Koordinatım.....dır" mesajı gönderilmektedir. İkinci aşamada ise cevaplayıcı tarafından alınan sinyal demodüle edilmekte , kriptosu çözülmekte ve alınan mesaja cevap olarak yine modüle edilmiş ve kriptolanmış lazer ışığı ile "Ben.....birliğine bağlırobotuyum. Koordinatım.....dır" mesajı gönderilmektedir.



Şekil 6 Tasarlanan sistemin işleyişi

Arazide görülen bir askeri robot veya aracın dost mu düşman mı ya da hangi görev gücüne ait olduğunu anlayamayan sorgulayıcı, kendi kodunu ve GPS 'den alınan koordinat bilgisini kriptolayarak ve lazer ışığı ile modüle ederek hedefe göndermektedir. İletilen bilginin formatı Şekil 7 'de verilmiştir.

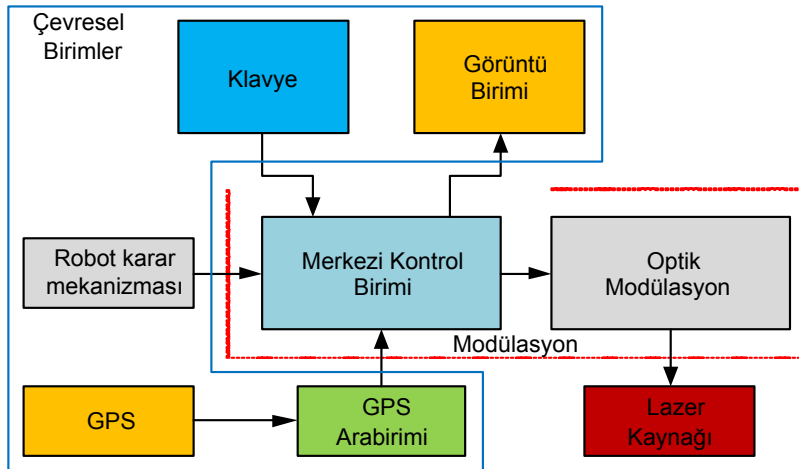


Şekil 7 İletilen bilgi formatı

Bu bilgi modüle edilmeden önce kriptolanmaktadır. Kriptolama konusu tamamen ayrı bir çalışma konusu olduğundan anlaşılabilir ve basit olması dolayısıyla XOR algoritması tercih edilmiştir. İletilen bilgi cevaplayıcının optik antenine ulaştığında, cevaplayıcı dost ise kriptoyu çözerek aldığı koordinat verisi ile sorgulayıcıya aynı formatta cevap bilgisini göndermektedir. Sorgulayıcı ve cevaplayıcı, kimlik bilgileri ve koordinatlarına ait kriptoyu çözerek birbirlerini tanıdıktan sonra, robotlarda operatör bulunuyor ise operatörler sisteme bağlanan klavyeler ile birbirlerine mesaj yazabilmektedirler. Sistem bu özelliği sayesinde IFF cihazı olarak kullanılabilirdiği gibi güvenli bir mesaj aktarma cihazı olarak da kullanılabilir.

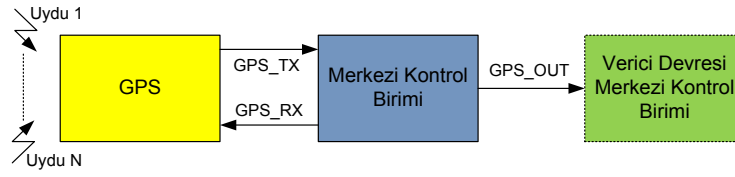
3.1 Tasarlanan Verici Sistemin Tanıtımı

Tasarlanan lazer IFF sisteminin verici katına ait blok şema Şekil 8 'de verilmiştir. Verici kat bir merkezi kontrol birimi ve modülasyon katı ile çevre birimlerinden oluşmaktadır. Çevresel birim olarak mesaj yazmak amacıyla bir klavye, koordinat bilgisini okumak amacıyla bir GPS alıcı modülü, mesajların yazdırılması amacıyla bir görüntüleme birimi kullanılmaktadır.



Şekil 8 Verici ünitesi blok şeması

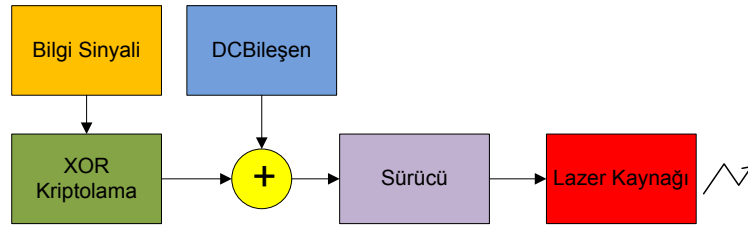
GPS modül en az üç uydu ile irtibat sağlayarak aldığı sinyalleri işlemekte ve koordinat verisini hesaplamaktadır. Hesaplanan koordinat verisini RS232 formatında TX hattına bırakmaktadır. Merkezi kontrol birimi, RS232 formatında ve NMEA protokolüne uygun olarak aldığı verileri işleyerek koordinat bilgisini okumaktadır. Kullanılan GPS arabirimine ait devrenin blok şeması Şekil 9 'da verilmiştir. GPS alıcı modülden alınan tüm veriler ASCII kodundadır ve bu veriler alındıktan sonra merkezi kontrol birimi tarafından onluk sisteme çevrilmektedir.



Şekil 9 GPS arabirimi blok şeması

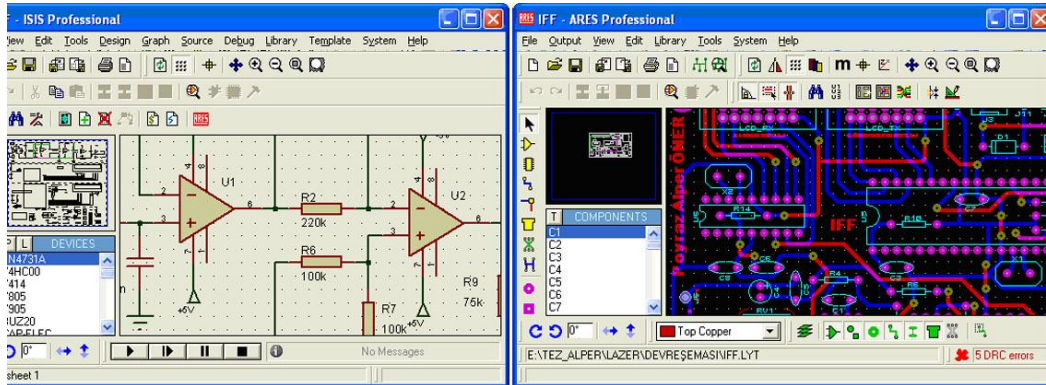
GPS alıcı modülün "mod seçim" ve "koordinat verisi okuma" işlemlerini yapabilmek amacıyla bir merkezi kontrol birimi kullanılmıştır.

Lazerin modülasyonu için kullanılan sisteme ait blok şema Şekil 10 'da verilmiştir. Blok şemadan da görüleceği gibi bilgi sinyali DC bileşen üzerine bindirilmeden önce güvenlik amacıyla kriptolanmaktadır. Kriptolama algoritmaları ve tekniği tamamen ayrı bir araştırma konusu olduğu için bu çalışmada basitliği ve anlaşılabilirliği nedeniyle XOR algoritması tercih edilmiştir.



Şekil 10 Lazerin modülasyonu için blok şema

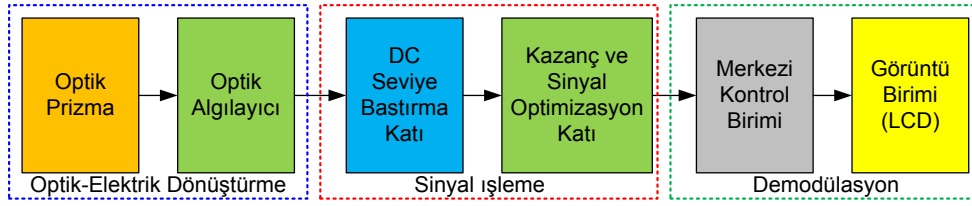
Tasarlanarak gerçekleştirilen sisteme ait tüm devre kartları bilgisayar destekli benzetim yazılımları ile geliştirilmiş ve analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin yapılmasında Labcenter Electronics tarafından geliştirilen Proteus ISIS ve ARES programları kullanılmıştır. Benzetim ve analiz çalışmalarına ait arayüzler Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11 Devre kartı benzetim ve analiz çalışması

3.2 Tasarlanan Alıcı Sistemin Tanıtımı

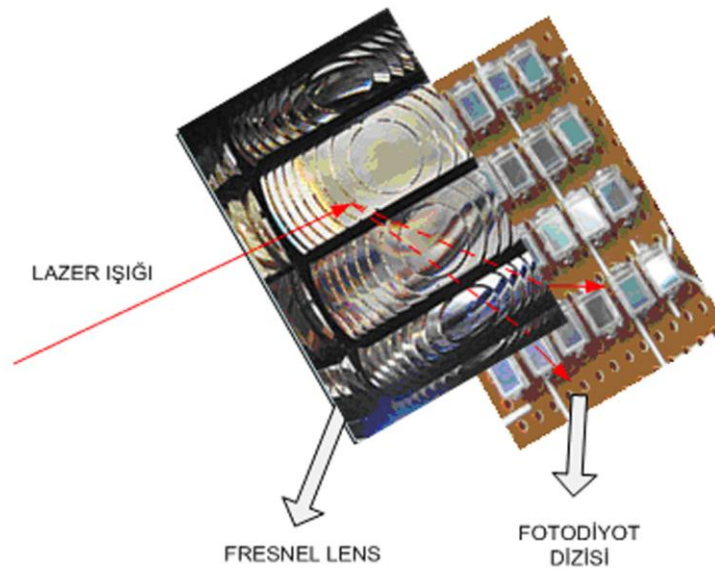
Tasarlanarak gerçekleştirilen IFF sistemine ait alıcı katın blok şeması Şekil 12 'de verilmiştir. Alıcı katı; bir optik prizma ve algılayıcıdan oluşan optik-elektrik dönüştürme katı, DC seviye bastırma ve sinyal optimizasyon birimlerinden oluşan sinyal işleme katı, merkezi kontrol ve görüntüleme birimlerinden oluşan demodülasyon katından meydana gelmiştir.



Şekil 12 Alıcı ünitesi blok şeması

Verici tarafından gönderilmiş kriptolu ve modüleli lazer ışığı önce optik prizmaya ve prizma içerisinde kırılarak optik algılayıcıya kadar ulaşır. Optik algılayıcı ışığı elektriksel sinyale dönütürür ve sinyal işleme katına uygular. Sinyal işleme katı tarafından gerekli yükseltme ve filtreleme işlemlerine tabi tutulan sinyal optimum hale getirilerek merkezi kontrol birimine uygulanır. Merkezi kontrol birimi tarafından önce demodülasyon işlemi, ardından da kripto çözme işlemi yapılan sinyal, görüntülenmek üzere görüntü birimine gönderilir.

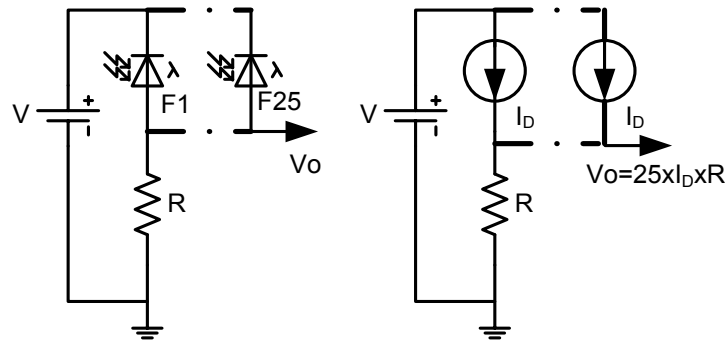
Tasarlanarak gerçekleştirilen lazer IFF sisteminin alıcı katında optik elektrik dönüştürme işlemi için üç yöntem üzerinde çalışılmıştır. Birinci yöntemde PIR dedektörlerinde kullanılan fresnel lens ve 5x5 matris şeklinde yerleştirilmiş fotodiyot dizisi kullanılmıştır. Fresnel Lens, optik alanında çok önemli buluşlara sahip Fransız fizikçi Augustin Jean Fresnel 'in icat ettiği bir çeşit mercektir. Optik yapıya sahip malzemeden imal edilmiş, içiçe geçmiş pek çok çember şeklinde merceklerden oluşan bir lens yapısına sahiptir. Normal cam mercekler çapı büyüdükçe ağırlaşır ve maliyetleri yükselir. Bu sebeple plastikten imal edilen fresnel lensler yaygın olarak deniz fenerleri ve tepegözlerde kullanılır. Ancak normal merceklerden ayrılmalarını sağlayan en önemli özellikleri dağınık şekilde gelen ışığı üzerlerinden geçerken düz ve homojen bir şekilde yansıtımlarıdır [8]. Denenen sistem Şekil 13 'de verilmiştir.



Şekil 13 Fresnel lens kullanılan düzenek

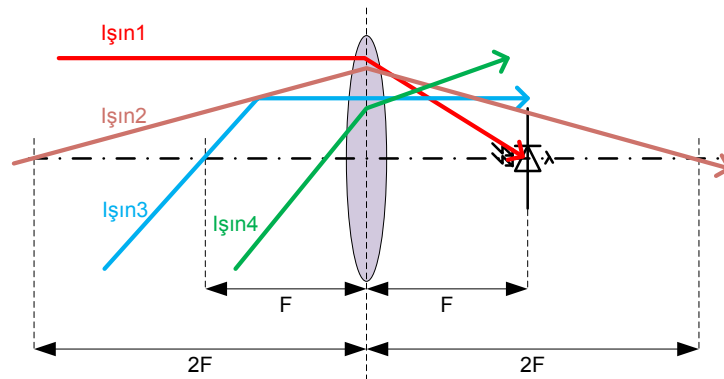
Bu yöntemde iki dezavantajla karşılaşmıştır. Birinci dezavantaj lens sisteminin gelen lazer ışığını çoğu kez fotodiyot üzerine düşürmemesi veya kırılma açısının yüksek olması nedeniyle fotodiyotta oluşan enerji seviyesinin düşük olmasıdır. İkinci dezavantaj ise 5x5 matriste 25 adet fotodiyot kullanılması ve bunların paralel bağlanmasının yarattığı etkidir. Lazer demeti haricinde fotodiyotlar üzerine gelen değişik dalgaboylarındaki ışıklar fotodiyotların doyuma gitmesine ve lazer demeti

içerisindeki bilginin algılanamamasına neden olmaktadır. Sistemde tek bir fotodiyot kullanılması durumunda direnç üzerindeki sinyal genliği Şekil 14 'de verilmiştir.



Şekil 14 Foto diyot dizisinin etkisi

Birinci yöntemin bu dezavantajlarından dolayı tek bir fotodiyot ve bir mercekle sisteminin bulunduğu sistem üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemle ince kenarlı bir mercekle gelen lazer ışığının fotodiyot üzerine düşürülmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde en büyük problem, lazer ışığının merceğe farklı noktalardan gelmesiyle görüntünün farklı noktalarda oluşması yani foto diyot üzerine düşmemesidir. Bu durum Şekil 15 'de gösterilmiştir. Diğer bir problem ise merceğin sabit tutulması olarak karşımıza çıkmıştır. Bu dezavantajlardan kurtulabilmek amacıyla otomatik odaklama yapan bir sisteme ihtiyaç vardır ki bu hem zor hem de pahalı bir yöntemdir. Şekil 15 'de görüldüğü gibi lazer ışığı, asal eksene paralel gelmesi durumunda (Işın1), odak noktasına yerleştirilen fotodiyot üzerine düşecektir. Eğer lazer merceğe 2F noktasından gelirse (Işın2) merceğin diğer tarafında 2F noktasından geçecek ve foto diyot üzerine düşmeyecektir. Benzer şekilde F noktasından gelen lazer (Işın3) asal eksene paralel olarak yol almakta ve fotodiyot üzerine düşmemektedir.



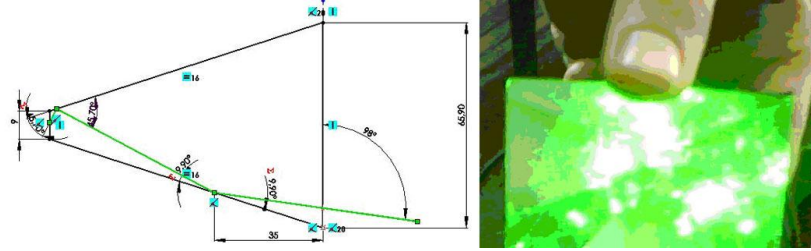
Şekil 15 Lazer ışınının değişik açılardan gelişi

Lazer ışını, odak noktası ile mercekle arasından gelirse (Işın4) asal eksene doğru kırılmaya uğrayarak devam edecek ve yine fotodiyot üzerine düşmeyecektir.

Her iki yöntemin de yapısında mercekle kullanıldığından ve tasarlanan sistemin arazi şartlarında çalışacağı göz önüne alındığında, kullanışsız olduğu sonucuna varılmış ve yeni bir yöntem geliştirilmiş ve optik prizmanın tasarımı ve üretilmesi için polimetilmetakrilat (PMMA - polymethylmethacrylate) malzemesi temin edilerek kullanılmıştır. Polimetilmetakrilat malzemesinin ışık iletimi çok daha yüksek olup % 90 ile % 98 arasındadır. Polimetilmetakrilat malzemesinin görünür dalgaboyundaki yeşil renkli lazere (520 nm) ve kırmızı renkli lazere (630 nm) göstereceği geçirgenlik çok yüksektir. Görünmez dalga boyundaki (950 nm ve üzeri) lazerler içinde oldukça

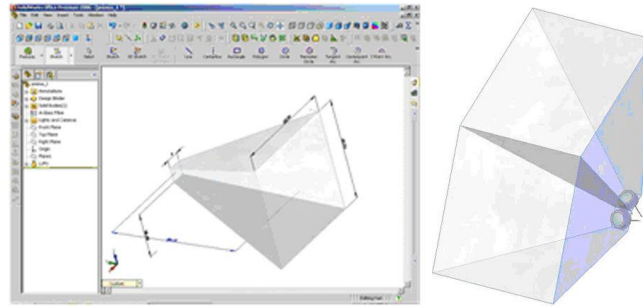
yüksek bir geçirgenlik özelliği sergilemektedir. Polimetilmekatriilat malzemesinin cama göre daha dayanıklı olması arazi şartlarında daha rahat kullanılabilmesi açısından da avantaj sağlamaktadır [9].

Tasarlanan optik sistem; polimetilmekatriilat malzemesinden üretilen bir prizma ve prizma tepesine yerleştirilen bir fotodiyottan oluşmaktadır. Sistem; ışığın prizma yüzeyinden içeriye girmesi, yüzeylerde kırılarak ilerlemesi ve en uç noktaya yerleştirilmiş fotodiyoda ulaşması prensibine dayanmaktadır. Bu durum Şekil 16 'da gösterilmiştir.



Şekil 16 Optik prizmanın çalışma prensibi

Tasarlanarak gerçekleştirilen prizmaya ait çizimler bilgisayar destekli olarak yapılmış olup tasarım aşamasından bir arayüz Şekil 17 'de verilmiştir.



Şekil 17 Prizmanın bilgisayar destekli olarak tasarlanması

Tasarım çalışmaları tamamlanan optik anten üretimine ait üretim aşamaları Şekil 18 'de verilmiştir.



Şekil 18 Prizmanın ve sistemin üretim aşamaları

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tasarımı yapılarak gerçekleştirilen robotik uygulamalar için lazer tabanlı haberleşme ve tanılama sistemi başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile 50 metre mesafeden sağlıklı bir şekilde veri iletimi ve kimlik tanımlaması yapılmıştır. Kullanılan lazer kaynağının görünmez bölgedeki dalga boyunda, IRHN9396 tipi bir ışın kaynağının seçilmesiyle, bu mesafe 2000 metreye kadar çıkartılabilecektir.

Günümüzde kullanılmakta olan IFF sistemleri daha çok hava ve deniz platformları için üretilmiş olup radyo frekans bölgesinde çalışmaktadır. Mevcut IFF sistemlerinin radyo frekans bölgesinde çalışmalarının bir sonucu olarak çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemler daha çok karışma, aldatma ya da bastırma olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarımı yapılan lazer tabanlı IFF sistemi ile bilgi, mesajın uzunluğuna göre, milisaniyeler süresinde aktarıldığından, alıcı ve verici arasına girerek haberleşmenin kesilmesi mümkün değildir. Geliştirilen sistem aynı zamanda, radyo frekans bölgesinde yapılabilen bastırma tekniğinden de etkilenmemektedir. Bu özelliğinden dolayı sistemin gelecek on yıllarda sıkça karşılaşıcağımız askeri robotlar için ideal bir haberleşme ve tanılama sistemi olabileceği değerlendirilmektedir.

Haberleşme ve tanılama sistemine ait alıcı katında kullanılan anten sistemi diğer lazer haberleşme sistemlerinden farklı bir yaklaşımla geliştirilmiştir. FSO sistemleri sabit noktalara yerleştirildiğinden, çeşitli mercekle düzenekleri ile yapılan optik antenler kullanılmaktadır. Geliştirilen lazer tabanlı haberleşme ve tanılama sisteminde ise polimetilmekatriolat malzemesinden bir piramit imal edilmiştir

ve bu piramide algılayıcı monte edilmesiyle optik anten üretilmiştir. Üretilen piramidler yüzey yüzeye birleştirilerek algılama açısı artırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sırasında piramidin bir yüzeyinin düz olarak üretilmesi durumunda algılama açısının daha da artacağı sonucuna ulaşılmıştır. İleride bu piramidlerin bir küre şekline getirilmesi ve 360°'lik bir algılama açısına sahip olması planlanmaktadır.

3. KAYNAKÇA

- [1] BOWDEN., L., "The story of IFF (identification friend or foe)", **IEE Proceedings**, Vol. 132, Pt. A, No. 6, (1985) , pp 435-437
- [2] WAKAMORI, K., KAZAURA, K., "Experiment on Regional Broadband Network Using Free-Space-Optical Communication Systems", **Journal Of Lightwave Technology**, Vol. 25, No. 11, (2007)
- [3] KAYAKESEN, E. ve YILDIZ, Ö., "Modelling of IFF Capability of an Airborne Multi Function Phased Array Radars", **IEE Proceedings**, (2006)
- [4] KOROTKOVA, O. and ANDREWS, C., "Speckle propagation through atmosphere: effects of a random phase screen at the source", **Proc. SPIE** Vol. 4821, (2002)
- [5] THEODOROS, A. and SANDALIDIS, G., "FSO Links with Spatial Diversity Over Strong Atmospheric Turbulence Channels", IEEE Communications Society, (2008)
- [6] WEICHEL, H., "Laser Beam Propagation in the Atmosphere", SPIE, Bellingham WA, (1990)
- [7] DEGNAN, J. and STEGGERDA, C., "NASA's Photon-Counting SLR2000 Satellite Laser Ranging System: Progress and Applications", Proc. AMOS 2003 Technical Conference, Maui, HA, Sept. 8-13, (2003)
- [8] www.fresneltech.com (Erişim tarihi: 05.04.2012)
- [9] HİKMET Y., "**Plastikler Dünyası**", TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, (2001)