

Düşük Maliyetli Serbest-Uzay Optik İletişim Sistemi Tasarımı

Low-cost Free-Space Optical Communication System Design

Okan Karatay, M. Salih Dinleyici

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Gülbahçe Köyü mevki 35430 Urla/İzmir
{okankaratay, salihdinleyici} @iyte.edu.tr

Özetçe

Serbest-uzay optik iletişim son yıllarda gerek askeri gerekse de sivil iletişim alanlarında yüksek iletişim kapasitesi, çabuk kurulumu, taşınabilirliği ve dar bir saçılma açısına bağlı güvenlik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Ancak, iletim kanalının atmosfer olması link kalitesi üzerinde ışıltama ve yüksek zayıflamadan kaynaklanan olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu zorlukları aşmak için bir çok farklı donanım ve iletişim tekniği kullanılmaktadır. Düşük güçlerde iletişime olanak sağlayan ve ışıltamanın azaltılmasına da yarayan büyük çaplı merceklerin kullanımı sistem maliyetini oldukça olumsuz etkilemektedir. Klasik optik mercekler yerine Fresnel merceklerinin kullanılması hem ışıltama hem de maliyet için bir çözüm olabilmektedir. VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, yüksek çıkış güçlü az saçılan bu lazerlerin daha düşük maliyetle serbest-uzay iletim hatlarında kullanılmasını olanaklı kılmaya başlamıştır. Bu çalışmada var olan sistemler incelenmekte ve düşük maliyetli bir serbest-uzay optik iletim sistemi tasarımıdaki ilk aşama olan fresnel mercek optik sistemi incelenmektedir.

Abstract

In recent years commercial and military interest in free-space optical communication (FSO) is growing due to the high bandwidths, portability and high security. Although the numerous advantages, atmospheric events such as attenuation and scintillation severely effects the link quality. Novel methods of mitigating atmospheric events were applied. Usage of large aperture lenses and high transmitted power according to decrease scintillation effects increases the system cost. Fresnel lenses, as an alternative to the classical optic system for mitigating scintillation effects would be a low-cost solution. As a result of the technological improvements on the output power and divergence angles of VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) enables high-speed cost effective FSO communication system design. In this research current applied FSO systems are analysed and fresnel lens optical system of alternative low-cost system designed.

1.Giriş

Serbest-Uzay optik iletişim modüle edilmiş ışığın atmosfer üzerinden alıcıya gönderilmesi esasına dayanmaktadır. Serbest-Uzay optik sistemlerde (SUO), teorik olarak, alıcı verici arasında direkt görüş olduğu ve verici gücü atmosferin bozucu etkilerini telafi edebildiği sürece etkin iletişim

mümkündür. SUO sistemler fiber-optik Serbest-uzay optik sistemlerde olduğu gibi LED yada Lazer ışığını verinin iletilmesinde kullanırlar.

Bugün ticari olarak kullanılmakta olan SUO sistemler atmosferin iletim karakteristiğine bağlı olarak iki farklı frekans bandında (780-900nm & 1500-1600nm) çalışmaktadır. Fiber-optik sistemlerde kullanılmakta olan 1300nm frekans bandı atmosferin yüksek zayıflatıcı etkisi nedeniyle SUO iletişimde uygulanmamaktadır. Genel olarak kullanılmakta olan SUO sistemler 10Mbps ila 2.7Gbps hızlarda çift yönlü iletişime olanak vermektedirler.

SUO sistemlerin yaygın kullanım alanları;

- Fiber-optik iletişim ağlarının son kullanıcılara erişimi.
- Yerleşim alanlarının coğrafi yada insan kaynaklı engellerle ayrıldığı bölgeler arası iletişim.
- Kısa kullanım süreli ve yüksek kapasiteli iletişimin gerektiği doğal afetler, konferanslar, spor oyunları gibi durumlar.

SUO sistemlerinin en önemli avantajı iletişim için kullanılan frekans bandının lisanslama sorunun olmaması (Dünya genelinde frekans spektrumunun 300Ghz ve üzerindeki bölümü lisans gerektirmemektedir.) ve hat kurulum maliyetinin düşük olmasıdır. 1km'lik bir fiber optik hattın kurulumu \$300.000 ila \$700.000 dolar arası iken benzer iletişim hızlarına sahip SUO sistemlerin maliyeti \$4.000-\$80.000 arası değişmektedir [1].

SUO sistemlerin diğer bir avantajıda bilginin dar bir saçılma açısına sahip ışık demeti halinde gönderilmesi nedeniyle dış kaynaklar tarafından engellenmesi yada bilgi sızdırılması güçleşmekte ve sağladıkları ağ güvenlikleri nedeniyle gizlilik isteyen askeri, finansal bilgilerin aktarında kullanılmaktadır.

SUO sistemlerindeki sınırlayıcı en önemli etken ise iletim kanalının atmosfer olması nedeniyle havanın yapısal karakteristiğinin ve iklimsel olayların (yağmur, sis, kar v.b.) sistem üzerindeki bozucu etkileridir (Şekil 1). Hava olaylarından en önemli olanı sisdir. Sis iletilen ışık üzerindeki yüksek zayıflatıcı etkisi (-200db/km) SUO sisteminin kurulum mesafesini 500m'nin altına indirmektedir [2]. İletişim sisteminin coğrafi konuma bağlı olarak ortaya çıkan etkenlerin yanı sıra atmosferin anlık mikro-iklimsel değişkenliği nedeniyle işaretin genlik ve fazında bozucu bir etki göstermektedir. Işıltama (scintillation) gün içi ısı değişimleri veya rüzgar sonucu oluşan içinde bulunduğu orantama oranla farklı kırılma indislerine, yoğunluklarına sahip hava paketçiklerinin iletilen işareti bozması sonucu ortaya çıkmaktadır [3].

seçilmektedirler. Yüksek iletişim hızlarında (ör: 1Gb/s ve üzeri) yükselme ve düşme süreleri nano saniyenin altında olan seziciler kullanılmaktadır. SUO sistemlerin alıcı taraftaki optik düzenekleri ışık demetini sezici üzerine odakladığı için sezicilerin aktif alanlarının ve görüş açılarının büyük olması sistem başarımını arttırmaktadır. Aktif alanlarının artması ise sezici maliyetlerini arttırmaktadır. Geniş spektrumlu tipik 100µm aktif alanlı InGaAs optik sezici \$275 iken benzer özellikleri olan 3mm aktif alanlı sezici \$550 civarındadır. Sezici çıkışındaki elektriksel işaretlerin genliklerinin iletim mesafesine bağlı olarak demodülatör öncesi zayıf olmaları nedeniyle işaret kuvvetlendiriciler kullanılabilir. Verici kısmının son adımı ise işaretlerin demodüle edilerek kanaldan iletilen veriler yeniden oluşturulmaktadır.

3. Düşük Maliyetli Serbest-Uzay Optik İletişim Sistemi

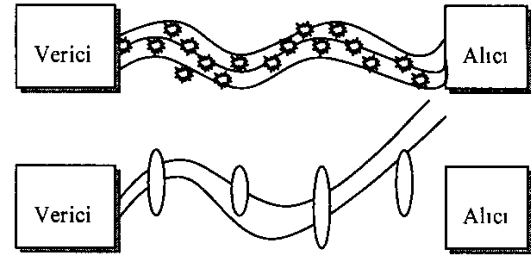
Teknolojideki gelişmelere paralel olarak , SUO iletim sistemi elemanları (lazer,optik,sezici) seçenekleri artmış ve maliyetleri düşmüştür. Bu avantajlar kullanılarak yeni sistemler tasarlamak mümkün olmuş ve rekabet olanağı doğmuştur. Örnek olarak, lazer güçlerindeki artış iletim hattı bütçesi üzerindeki sınırları gevşetmiştir. Buna bağlı olarak daha geniş ışık demeti spotları kullanılabilir ve geniş yüzeyli fresnel mercekler sisteme dahil edilebilecektir.

SUO sistemlerde iletişim hızlarına ve mesafesine bağlı olarak kullanılan düzenekler değişmektedir. İletişim hızlarının artması yüksek modülasyonlarda sürülebilir lazerlerin kullanılmasını gerektirmektedir. DFB lazerler hızlı iletişime olanak sağlamakla beraber yüksek maliyetleri (\$900-\$1000) nedeniyle tercih edilmemektedir. Bugün kullanılmakta olan sistemlerde 3GB/s ve üzerindeki hızlara ulaşabilen VCSEL lazerler (\$20-\$50) tercih edilmektedir. Lazer diyot üreticileri tarafından kullanıcılara sunulan VCSEL diyotlar 780-850nm dalga boyu aralığında bulunmaktadır. 1500-1600nm bandındaki ışık kaynakları atmosferin yoğun zayıflatıcı etkilerinin olduğu sis gibi koşullarda 785-850nm dalga boyundaki ışık kaynaklarından daha fazla etkilendiği göz önüne alındığında VCSEL lazer diyotlarının ışık kaynağı olarak kullanılması daha etkin bir çözüm olmaktadır. 1550nm dalga boylarında ise FB (fabry-perot) diyotlar 1Gpbs hızlarına kadar sürülebilirleri nedeniyle DFB lazerlere alternatif olarak uygulanabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan SUO sistemleri maliyet avantajları nedeniyle lazer ışığının direk modülasyonu tekniğini kullanmaktadırlar.

SUO sistemlerde optik düzeneklerin oluşturulması önemli bir tasarım ölçütüdür. Verici kısımdaki optik sistemler genelde tek mercekten oluştuğundan tüm sistem maliyetinin azaltılmasında birincil önem taşımaktadır. Alıcı sistemlerinin optik düzenekleri yüksek maliyetli olmaları nedeniyle kullanılmakta olan sistemlerde başarımlar ölçütlerinden ödünler vererek küçük mercekler kullanılmakta yada komple düzenekler kullanılarak yüksek maliyetli sistemler tasarlanmaktadır. SUO sistemler içerisinde kullanılan mercek yarıçapları genellikle 10cm ila 20cm arasında değişmektedir.(\$700-\$1500) [5]. SUO sistemlerin maliyetinin \$4000-\$50000 arasında değiştiği göz önüne alındığında alternatif çözümlerin öne çıkarılması gerekmektedir. Tasarladığımız SUO iletişim sistemi optik alıcı kısımda kullanılmakta olan mercekler alternatif düşük maliyetli fresnel mercek sistemlerinin kullanılması temeline dayanmaktadır. Fresnel mercekler benzer boyutlarda (10cm-20cm) \$20-\$50 gibi maliyete sahip olması nedeniyle etkin bir alternatif optik sistem olarak öne çıkmaktadır [6]. Normal

merceklerin yansıtıcı yüzeyleri arasındaki dolgu madde merceğin optik özellikleri üzerinde etkisi bulunmamaktadır. Fresnel mercekler dolgu kısmın silindirik açılmalı olarak kullanılarak modüle edilmesiyle elde edilirler. Mercek yüzeyindeki uygulanan bu teknikle fresnel mercekler fiyat avantajlarının yanısıra küçük boyutlarda ve hafif olmaktadır.

Mercek sistemlerinde maliyetin yanı sıra anlık atmosferik değişimler sonucu ortaya çıkan ışıldamanın azaltılması önemli bir başarımlar ölçütüdür. Işıldama iletim kanalı boyunca ilerleyen ışık demetinin alıcıdan kısmen yada tamamen sapmasına neden olmaktadır (Şekil3).



Şekil 3: Işıldama

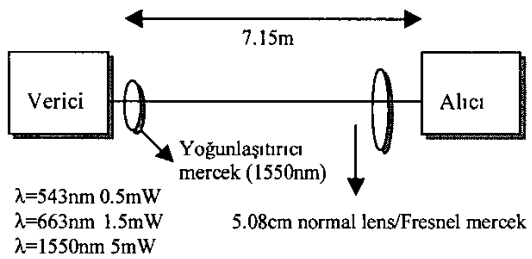
Işıldamanın azaltılması amacıyla SUO sistemlerde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi alıcı tarafta aktif denetimli odaklama sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemler ışıldama üzerinde oldukça başarılı olmalarına karşın beraberlerinde yüksek maliyetleri getirmektedirler. Diğer bir teknik ise büyük çaplı merceklerin kullanılmasıdır. Klasik optik merceklerin fiyatları göz önüne alındığında aktif denetimli sistemler tercih edilmektedir.

Fresnel mercekler sağladıkları fiyat avantajı nedeniyle SUO sistemlerdeki uygulanabilirliği önemli bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Büyük çaplı düşük maliyetli fresnel mercekler hem ışıldama sorununa çözüm olmakta hem de odaklama sorununa kolaylık getirmektedir.

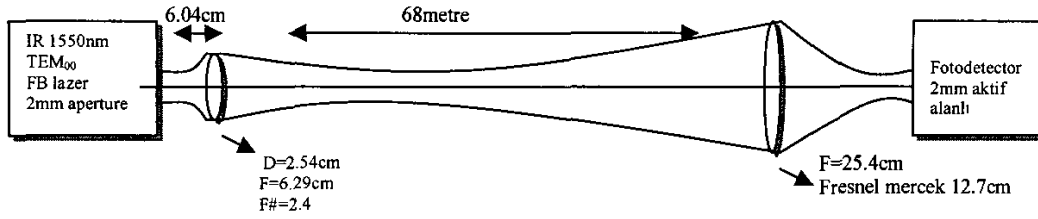
Bu amaçla enstitü bünyesinde kurulmakta olan SUO iletişim sisteminde yüksek hızlarda fresnel mercekli optik düzeneklerin klasik SUO sistemlerine oranla başarımları incelenmektedir.

4. Deneysel Düzenek

Fresnel mercek sistemlerinin SUO sistemlerde uygulanabilirliğinin araştırılması ve klasik sistemlerle karşılaştırılması amacıyla laboratuvar ortamında kısa mesafede Şekil 4 ve uzun mesafede Şekil 5'deki iletim hattı kurulmuştur.



Şekil 4: Kısa mesafe SUO iletim hattı



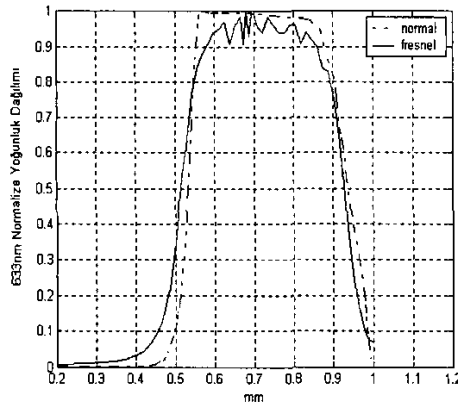
Şekil 5: Uzun mesafe SUO iletim hattı

Kurulan SUO iletim hattı farklı dalga boylarında fresnel mercekler ile normal merceklerin başarımları incelenmiştir. Verici tarafta lazer ışığının kollimasyonu amacıyla 1550nm dalga boyunda yarı iletken lazerin büyük saçılma açısına uygun ($f\#=2.4$, $NA=1/2f\#$) küçük yarıçaplı bir mercek uygulanmıştır. Alıcı tarafta ise gelen ışığın güç dağılımını çıkarmak amacıyla genel amaçlı bir fotodetektör kullanılmıştır. Fotodetektörün aktif alanı 2mm'ye kadar yarıçaplı ışığı tamamen toplayabilme özelliğindedir.

5. Sonuçlar

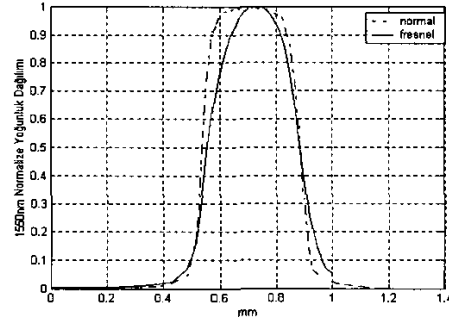
Laboratuvar ortamında kurulan temel iletim düzeneği yardımıyla fresnel merceklerin değişik dalga boylarında ve mesafelerde normal merceklerle oranla başarımları incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan başarımlar ölçütlü fresnel ve normal merceklerin iletim karakteristikleri, işaret/gürültü güç oranları, maximum ulaşılan güç değerleri ve sistem kayıplarıdır.

Şekil 4 ve 5 deki deneysel iletim hatlarından elde edilen yoğunluk profilleri Şekil 6 ve 7 de verilmiştir.



Şekil 6: 633nm fresnel ve normal mercek yoğunluk dağılımı.

Fresnel merceklerle gerçekleştirilen iletim hatlarında elde edilen sonuçlar bu tür merceklerin güç dağılım profillerinin normal merceklerle oranla daha fazla salınımlar yaptığını göstermektedir. Fotodetektör üzerine gelen ışığın yoğunluk dağılımındaki salınımları gürültü olarak sezdiği düşünüldüğünde fresnel mercekli bir sistemde gürültü/güç oranı 633nm'de 15.3 dB iken normal mercekli sistemde 16.2 dB olarak ölçülmektedir. Benzer şekilde 543nm ve 1550nm dalga boylarında da fresnel mercekli sistemler daha düşük gürültü/güç oranlarına sahip olmaktadır. Fresnel mercekli



Şekil 7: 1550nm fresnel/normal mercek yoğunluk dağılımı.

sistemlerin analizinde gözlemlenen sonuçlardan biride detektör üzerine odaklanan maksimum güç oranlarının normal mercekli sistemlere oranla daha düşük olmasıdır. 1550nm link iletim hattında normal merceklerle okunan maksimum güç oranı 1mW iken eş fresnel mercekli düzende 0.89mW olmaktadır. 633nm'lik iletim hattında ise çıkış gücü 1.5mW iken normal merceklerde 1.18mW fresnel merceklerde 1mW.

Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlar fresnel merceklerin normal merceklerle oranla göreceli düşük performans göstermelerine rağmen düşük maliyetlere sahip olmaları ve büyük boyutlarda gerçekleştirilebilmeleri nedeniyle SUO sistemlerde uygulanabilir olabilmektedirler.

Çalışma içerisinde SUO sistem tasarım aşamasının ilk adımı olan fresnel optik sistem incelenmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan ilk deneyler alan çalışmalarında esas alınacaktır.

6. Kaynakça

- [1] G. Nykolak, G. Raybon, B. Mikkelsen, B. Brown, J.J. Auburn H.M. Presby, "A 160Gb/s Free Space Transmission Link", Optical Wireless Communication III, proc. SPIE vol. 4214 pp. 11-25 2001.
- [2] Isaac I. Kim et al, Wireless optical transmission of Fast Ethernet, FDDI, ATM, and ESCON protocol data using the Terralink laser communication system, optical Engineering, vol.37 no.12, December 1998.
- [3] Isaac I. Kim, Mary Mitchell and Eric Korevaar, "Measurement of scintillation for free-space laser communication at 785nm and 1550nm", Optical Wireless Communications II, proc. spie vol. 3850, pp.49-62.
- [4] Xioming Zhu, Joseph Kahn, "Free-space Optical communication through atmospheric turbulence channels", IEEE Trans. On Commun, April 2002.
- [5] Thorlabs 2004 vol. 16 product catalogue.
- [6] Fresnel Technologies 2003 product catalogue.