

KABLOSUZ OPTİK HABERLEŞME İÇİN UYARLANIR GÖRÜŞ ALANLI ALICI

Sezai A. TEKİN¹

Yusuf E. YENİCE²

Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Aksaray Mühendislik Fakültesi

Niğde Üniversitesi, 68100, Aksaray

¹e-posta: satekin@nigde.edu.tr

²e-posta: yenice@nigde.edu.tr

Anahtar sözcükler: Kablosuz optik haberleşme, atmosfer türbülansı

ÖZET

Bu çalışmada uyarlanırlar görüş alanlı alıcı tasarımının, açık hava türbülansına maruz kalan kablosuz optik haberleşme sisteminin performansını belirli şartlar altında iyileştirdiği gösterilmektedir.

1. GİRİŞ

Kedar ve Arnon [1-2] bulanık (sisli, puslu, vb.) havada lazer ışığının yayılımını modelleyerek, ileri yönde saçılıp kırınım ile sınırlı asgari görüş alanından daha büyük açılardan alıcı merceğine ulaşan ışığın, alıcı elektroniği ve diğer kaynaklardan gelen ilave gürültüyü de telafi ederek sinyal-gürültü oranını arttırmayı sağlayacak en uygun görüş alanını araştırdılar. Her türlü bulanık hava ortamındaki performans iyileşmesini verecek genel bir model oluşturmak çok zor olduğu için, çeşitli yoğunluktaki sisli ortamlar için değişken görüş alanlı alıcının kablosuz optik haberleşme sisteminin sinyal-gürültü oranını, özellikle de doğrultma hatalarının bulunduğu durumlarda, iyileştirdiğini göstermekle yetindiler.

Benzer bir optimizasyon problemi açık havadaki haberleşme için de mevcuttur. Doğrudan sezmesi (foton sayan) bir optik alıcıda, türbülans kaynaklı bulanık mercek düzlemindeki geliş açısı dalgalanmaları görüntünün dedektör düzleminde gezinmesine, dalga cephesindeki faz bozulmaları ise görüntünün büyümesine sebep olur. İlke olarak, bu etkiler büyük görüş alanlı bir alıcı kullanarak yok edilebilir. Ancak, eğer alıcı izotropik arka plan ışımalarının bulunduğu ortamda (yani gündüz) çalışıyorsa, dedektör girişindeki arka plan gürültüsü görüş alanının karesiyle orantılı olarak artacaktır. Daha büyük görüş alanı aynı zamanda daha yüksek dedektör gürültü seviyeleri ve daha büyük dedektör sığası (yani bant genişliğinin azalması) demektir. Dolayısıyla, türbülans etkilerinin büyük kısmını telafi ederken, mümkün olduğunca az gürültü girmesini sağlayan bir en uygun görüş alanı mevcuttur. Daha önce Maltsev [3] bu konuyu kısmen ele almıştı. Bu çalışmada Maltsev'in incelemesi genişletilerek uyarlanırlar görüş alanlı alıcının belirli şartlarda açık

hava haberleşmesi için de fayda sağlayacağı gösterilmektedir.

2. GÖRÜŞ ALANI VE TÜRBÜLANS

Bir optik alıcı esasen bir mercek ile odak noktasına yerleştirilmiş bir dedektörden oluşur. Görüş alanı (FOV) merceğin (veya optik sistemin) odak mesafesi F ile dedektör çapı d tarafından belirlenir ve $FOV \cong d / F$ bağıntısıyla hesaplanır. Kırınım ile sınırlı bir alıcının görüş alanı, λ dalga boyu, D mercek çapı olmak üzere $FOV_0 = 2.44\lambda / D$ ile verilir.

Eğer dedektör düzlemindeki normalize radyal koordinat $v = dD / 2\lambda F$ şeklinde tanımlanırsa, yarıçapı v olan bir dedektöre karşılık gelen görüş alanı $FOV = 2v\lambda / D$ olur. Bu durumda kırınım ile sınırlı görüş alanı da $v_0=1.22$ 'ye karşılık gelir.

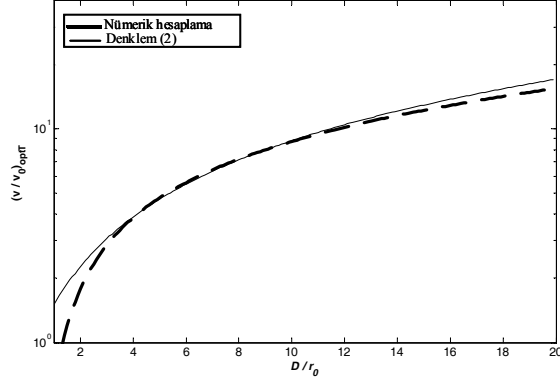
Dedektör düzleminde v yarıçaplı bir dairenin içindeki normalize ortalama sinyal gücü aşağıdaki bağıntıyla verilir [3].

$$\langle P(v, D/r_0) \rangle = 2\pi v \int_0^1 OTF_0(\xi) \times \exp\left[\frac{-D_\psi(\xi)}{2}\right] J_1(2\pi\xi v) d\xi \quad (1)$$

Burada $OTF_0(\xi) = 2\left(\arccos \xi - \xi\sqrt{1-\xi^2}\right) / \pi$

alıcının optik transfer fonksiyonu, J_1 birinci tür Bessel fonksiyonu, ξ giriş merceği düzlemindeki normalize koordinattır. Türbülanslı atmosferdeki yayılım için faz yapı fonksiyonu, r_0 faz uyumluluk ölçeği olmak üzere, $D_\psi(\xi) = 6.88(\xi D/r_0)^{5/3}$ ile verilir. Bu fonksiyon hem geliş açısı dalgalanmalarını, hem de daha yüksek mertebeli faz bozulmalarını içerir. Denklem (1)'deki normalizasyon $\langle P(\infty, D/r_0) \rangle = 1$ olacak şekildedir. Hiç faz

bozulması yoksa, kırınım sınırlı bir alıcı merceğe üzerine düşen gücün %84'ünü yakalar; yani $\langle P(v_0, 0) \rangle = 0.84$ 'dür. Faz bozulmasının yokluğunda bile $\langle P(v) \rangle$ fonksiyonu doyuma çok yavaş ulaştığı için, gelen sinyal gücünün tamamını yakalamaya çalışmak görüş alanının aşırı derecede büyümesine sebep olur. Dolayısıyla görüş alanının, gelen gücün %80-90'ı alınacak şekilde ayarlanması tavsiye edilir.



Şekil 1. Tübülanans şiddetinin fonksiyonu olarak izafi görüş alanının en uygun değerleri.

Arka plan gürültü seviyesinin yüksek olduğunu varsayarak, en uygun görüş alanını tübülanans etkilerine rağmen kırınım sınırlı güç seviyesini (%84) sağlayan değer olarak tanımladık. Şekil 1'deki kesikli çizgi en uygun izafi görüş alanının, yani $(v/v_0)_{optT}$ 'nin, D/r_0 oranına göre nümerik hesaplamayla elde edilen değişimini göstermektedir. Gerçek zamanlı hesaplamalar için yaklaşık da olsa analitik bir ifade çok daha kullanışlı olacaktır. Şekil 1'deki düz çizgi eğri uydurma yoluyla elde ettiğimiz aşağıdaki yaklaşık ifadeyi temsil etmektedir :

$$(v/v_0)_{optT} \approx \frac{1.418(D/r_0)^{14/5}}{\left[1 + (D/r_0)^{5/3}\right]^{6/5}} \quad (2)$$

Şekil 1'de görüldüğü gibi bu denklem uygulamada kullanılacak olan $1 < D/r_0 < 10$ aralığında asıl eğriye oldukça yakındır. Aslında bu eğri kabaca $(v/v_0)_{optT} \approx D/r_0$ şeklinde de ifade edilebilir. Buna göre, D/r_0 arttıkça, kırınım sınırlı güç seviyesini muhafaza edebilmek için izafi görüş alanı da aynı miktarda artırılmalıdır. Bu durum, v/v_0 'ın kırınım sınırından izin verilen gevşemeyi, D/r_0 'ın ise kırınım sınırından atmosferin empoze ettiği çözünürlük kaybını temsil ettiği düşünülürse, daha iyi anlaşılacaktır. Aşırı derecede faz bozulmasından dolayı $D/r_0 > 10$ için eğri doyuma ulaşır. Demek ki,

$v/v_0 > 10$ olduğu sürece alıcının ortalama gücü tübülanstan etkilenmeyecektir.

3. ARKA PLAN GÜRÜLTÜSÜ VE GÖRÜŞ ALANI

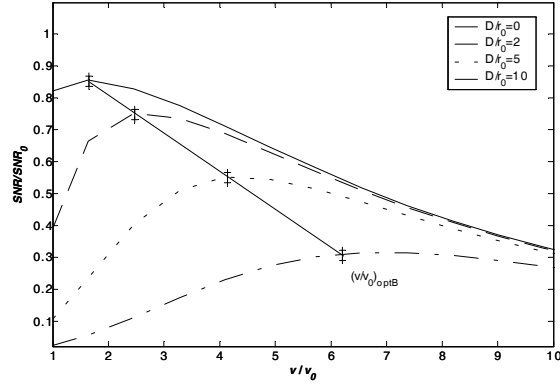
Bir sonraki adım arka plan gürültüsünün gerçek değerinin en uygun görüş alanı ve sinyal-gürültü oranı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesidir. Maltsev'in [3] kullandığı performans ölçütü olan, alınan sinyal gücünün geçirilen arka plan gürültüsüne oranı P_s / P_b ışık şiddeti modülasyonlu, doğrudan sezmeli bir alıcı için yeterli bir ölçüt değildir. Çünkü arka plan gürültüsünün doğrudan etkisi, değişken eşik seviyeli bir alıcı veya iki yarı dilimdeki enerji seviyelerini karşılaştırarak karar veren bir Manchester alıcısı kullanılarak yok edilebilir. Yine de arka plan gürültüsü dedektördeki kuantum gürültüsünü artırarak sinyal-gürültü oranını düşürür [4]. Eğer dedektör kazancı 1 ise (PIN dedektör), genellikle ısı gürültü kuantum gürültüsünden çok daha büyüktür ve dolayısıyla arka plan gürültüsü ihmal edilebilir. Büyük dedektör kazançlarında (çığ fotodiyotu) kuantum gürültüsü baskındır ve dedektördeki sızıntı akımı ihmal edilirse sinyal-gürültü oranı aşağıdaki ifadeye indirgenebilir [5]:

$$SNR \cong \left(\frac{\eta}{2hfB} \right) \frac{P_s}{1 + \frac{1}{(P_s / P_b)}} \quad (3)$$

$$= SNR_0 \frac{\langle P(v, D/r_0) \rangle}{1 + (P_{b0} / P_{s0}) \frac{(v/v_0)^2}{\langle P(v, D/r_0) \rangle}}$$

Burada P_{b0} kırınım sınırlı bir alıcının geçirdiği arka plan gürültüsü, P_{s0} giriş merceği üzerine düşen ortalama sinyal gücü, η dedektörün kuantum verimi, h Planck sabiti, f taşıyıcı frekansı, B alıcının bant genişliğidir. Eğer P_{s0} / P_{b0} oranı biliniyorsa, izafi görüş alanının bu sefer $(v/v_0)_{optB}$ olarak adlandıracağımız en uygun değeri, verilen bir D/r_0 değeri için SNR / SNR_0 ifadesi maksimize edilerek daha hassas olarak belirlenebilir (Bkz. Şekil 2). $(v/v_0)_{optT}$ ile $(v/v_0)_{optB}$ 'yi çeşitli parametre kombinasyonları için karşılaştırınca, $1 < D/r_0 < 10$ aralığında doğrusal bir ilişkiye sahip olduklarını gördük, ki bu da Denklem (2)'nin, gerekirse arka plan gürültüsünün seviyesine göre ötelenmesi ve ölçeklenmesi kaydıyla, gerçek zamanlı

hesaplamalarda güvenle kullanılabileceği anlamına gelir.



Şekil 2. İzaflı görüş alanının fonksiyonu olarak SNR/SNR_0 'nin değişimi ($P_{s0}/P_{b0}=100$).

4. UYARLANIR GÖRÜŞ ALANI

Son olarak [3]'de dikkate alınmayan, r_0 'ın rastgele değişmesi hesaba katılacaktır. Yatay mesafeler için faz uyumluluk ölççeği $r_0 = (0.16k^2L C_n^2)^{-3/5}$ ile verilir; burada k dalga sayısı, L alıcı ile verici arasındaki mesafe, C_n^2 kırılma indisi yapı sabitidir ("türbülans şiddeti" dendiği de olur). C_n^2 'nin rastgele değişmesinin sonucu olarak r_0 da bir rastgele değişkendir. C_n^2 veya r_0 'ın hem kısa, hem uzun vadeli ölçümleri büyük bir değişkenlik göstermekte olup, ölçülen histogramlar genellikle normal ile lognormal dağılımların arasında kalmaktadır (Örneğin bkz. [6-8]). Modelleme ve simülasyon amaçları için en uygunu beta dağılımı gibi görünmektedir [7]. Beta dağılımı ortalama ve varyansı belirleyen iki şekillendirme parametresi ile ötesinde ve berisinde dağılımın sıfır olduğu üst ve alt sınırlar olmak üzere toplam dört parametre gerektirir. Genel bir çalışma için sınırlar $C_n^2 = 10^{-18}$ ve $C_n^2 = 10^{-12} \text{ m}^{-2/3}$ olarak, $\log C_n^2$ 'nin standart sapması ise sabit olarak 6 dB (ortalamaya göre) alınabilir [8].

Türbülans ve arka plan gürültüsünden başka sistem tasarımı ve uygulamadaki mülahazalar da görüş alanına sınırlama getirecektir. Eğer izin verilen aralık $v/v_0 = 10$ 'un ötesinde ise, görüş alanı türbülansın etkileri ihmal edilecek şekilde ayarlanacak demektir. Eğer izin verilen aralık $1 < v/v_0 < 10$ bölgesini içerirse, değişen türbülans şartlarına göre görüş alanının gerçek zamanlı olarak ayarlanması sinyal-gürültü oranını iyileştirebilir. Çeşitli şartlar altında ne kadar iyileştirme sağlandığını incelemek için çok sayıda simülasyon yapıldığında, sabit görüş alanlı bir

alıcıya göre uyarlanır görüş alanının sağladığı iyileştirmenin yüzde birkaçtan başlayıp, uç durumlarda yüzde yüz ve daha fazlasına kadar gidebildiği görülmüştür. Şekil 3'te aşağıdaki parametrelerle gerçekleştirilen örnek bir simülasyon sonucu gösterilmektedir : $D = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$,

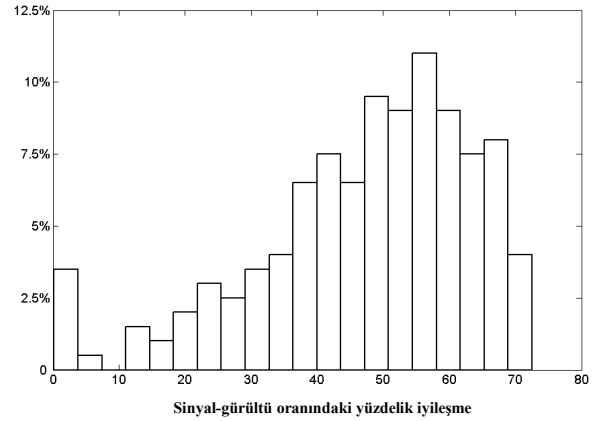
$$L = 4 \text{ km} , C_n^2(\text{min}) = 10^{-18} \text{ m}^{-2/3} ,$$

$$C_n^2(\text{max}) = 10^{-12} \text{ m}^{-2/3} , C_n^2(\text{ortalama}) = 10^{-14} \text{ m}^{-2/3} ,$$

$$C_n^2(\text{standart sapma}) = 4 \times C_n^2(\text{ortalama}) ,$$

$P_{s0} / P_{b0} = 100$, $v/v_0 = 10$ (sabit görüş alanlı alıcı için). Dış dokunur bir iyileştirme için en başta gelen şart D/r_0 dağılımının önemli bir kısmının

$1 < D/r_0 < 10$ aralığında olmasıdır. Bu da, büyük oranda giriş merceğinin büyüklüğü, alıcı ile verici arasındaki mesafe ve C_n^2 'nin ortalama değeri tarafından belirlenir ve uygulamada bir çok durumda karşılaşılma olasılığı kuvvetlidir. Diğer önemli etken ise sabit görüş alanının hangi değere ayarlanacağıdır. Eğer D/r_0 dağılımının önceden aynen bilindiği varsayıлып, sabit görüş alanı buna göre optimize edilirse, sağlanan iyileştirmeler daha mütevazı olacaktır.



Şekil 3. Uyarlanır görüş alanlı alıcının sabit görüş alanlı alıcıya göre sağladığı kısa dönem sinyal-gürültü oranı iyileşmesinin, yani

$$100 \times (SNR_{\text{uyarlanır}} - SNR_{\text{sabit}}) / SNR_{\text{sabit}} \text{ 'in histogramı.}$$

5. SONUÇ

Türbülanslı atmosferde yayılan lazer ışığı için en uygun görüş alanını ele alan daha önceki bir çalışma genişletilerek şu sonuca varılmıştır : Eğer genel sistem tasarımı mülahazaları alıcının görüş alanının $1 < v/v_0 < 10$ bölgesini de içeren bir aralıkta ayarlanmasına izin veriyorsa, ve eğer D/r_0

dağılımının önemli bir kısmı $1 < D/r_0 < 10$ aralığındaysa, uyarlanırlı görüş alanlı alıcı tasarımı, yüksek arka plan gürültüsü şartlarında, yüksek dedektör kazançlı bir alıcının performansını arttıracaktır. Ayrıca, gerçek zamanlı hesaplamalar için yaklaşık bir analitik ifade önerilmiştir. Gerçekleştirim meselesine gelirse, r_0 yaygın kullanılan dalga cephesi algılayıcılarından biri, örneğin Shack-Hartman algılayıcısı ile ölçülebilir. Hatta, eğer alıcı ile verici arasındaki arazi profili yeterince düzgünse, bir C_n^2 algılayıcısı bile yeterli olabilir. Ayarlanabilir odak mesafeli mercekler konusundaki son gelişmeler de (örneğin bkz. [9-10]) görüş alanının gerçek zamanlı ayarlanması seçeneğini gittikçe daha cazip hale getirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kedar, D. and Arnon, S. : "Adaptive field-of-view receiver design for optical wireless communication through fog", Proc. SPIE, 2002, Cilt. 4821, s.110-120.
- [2] Kedar, D. and Arnon, S. : "Optical wireless communication through fog in the presence of pointing errors", Appl. Opt., 2003, Cilt.42, s.4946-4954.
- [3] Maltsev, G.N. : "Direct-detection receiver angle for an atmospheric optical communication line",

Izvestiya VUZ. Radioelektronika, 1991, Cilt. 34, No.9, s.88-90.

- [4] Leeb, W.R. : "Degradation of signal to noise ratio in optical free space data links due to background illumination", Appl. Opt., 1989, Cilt.28, s.3443-3449.
- [5] Pratt, W.K. : "Laser Communication Systems" (John Wiley, 1969), s. 177.
- [6] Walters, D.L. and Bradford, L.W. : "Measurements of r_0 and θ_0 : two decades and 18 sites", Appl. Opt., 1997, Cilt. 36, s.7876-7886.
- [7] Andreas, E.L. : "The refractive index structure parameter, C_n^2 , for a year over the frozen Beaufort Sea", Radio Science, 1989, Cilt.24, s.667-679.
- [8] Chadwick, R.B. and Moran, K.P. : "Long-term measurements of C_n^2 in the boundary layer", Radio Science, 1980, Cilt. 15, s.355-361.
- [9] Ren, H., Fan, Y., Lin, Y. and Wu, S. : "Getting in tune : Electronically controlled liquid crystal yields tunable-focal-length lenses", OE Magazine, Eylül 2004, s.25-27.
- [10] Takayama, W. and Klaus, W. : "Application of negative refractive behaviour to field-of-view expansion in optical receivers", J.Opt. A : Pure Appl. Opt., 2003, Cilt. 5, s.S305-S309.