

Farklı yapılara indirgenebilen genel profilli ışık kaynağı hüzmelerinin boşlukta yayılmasıyla oluşan ışık şiddeti

Sırrı Taha Dedeoğlu, Yahya Baykal*
Çankaya Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüzüncüyıl, Ankara
x@taha22.com
*Çankaya Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüzüncüyıl, Ankara
y.baykal@cankaya.edu.tr

Yüksek dereceli tek ve çok modlu, Hermite-sinusoidal-Gauss ve yüksek dereceli halkasal Gauss yapılarına indirgenebilen genel profilli ışık kaynağı hüzmelerinin boşlukta yayılmasından sonra alıcı düzleminde oluşturduğu ışık şiddeti formüle edilmiştir. Analitik formda ifade edilen bu formül yardımıyla kullanıcı ara birimi hazırlanmıştır. Ara birim sayesinde, ışık profilinin kaynak düzleminde başlayarak alıcı düzlemine ulaşmaya kadar link boyunca uğradığı değişimi akıcı bir biçimde gözlemlemek mümkün olmaktadır. Simülasyon, istenilen dalga boyu ve ışık kaynağı parametrelerinin ara birime girilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Makalede, belirli yapılardaki hüzmeler için simülasyon neticeleri sunulmuş olup istenilen diğer hüzmeye yapıları için de ışık profilinin değişimi izlenebilir.

1. Giriş

Free Space Optics (FSO) genellikle kızıl ötesi lazer ışığı kullanarak, atmosferde veya uzayda, veri transferine imkan veren bir telekomünikasyon teknolojisidir. Bu teknoloji de fiber optik gibi, hızlı veri transferine imkan verir. Özellikle yüksek bağlantı hızının gerektiği yerlerde fiber kablolarının kullanılması, gerek fiyat gerekse kablolama şartlarından dolayı zor olduğu durumlarda FSO'nun kullanımı idealdir. Bu çalışmanın amacı, FSO'da kullanılacak bazı lazer tiplerinin yaydığı ışık hüzmelerinin boşlukta yayıldıkça ışık şiddeti karakteristiklerinin nasıl değiştiğini gözlemleyebilmektir. Bu nedenle, genel-tip bir lazer alanı kullanılarak Huygens Fresnel prensibi ile boşlukta yayılımı formüle edilmiş ve alıcı düzlemindeki ışık şiddeti hesaplanmıştır. MATLAB kodunda hazırlanan bir simülasyon yardımıyla farklı lazer kaynakları için boşluktaki yayılım mesafesi boyunca alıcı düzleminde oluşan ışık şiddeti profillerini görebilmek mümkün olmaktadır.

2. Formülasyon

Lazer çıkış düzleminde ($z = 0$) genel hüzmeye için kaynak alanı aşağıda verilmiştir [1]

$$u^{inc}(s_x, s_y, z = 0) = \sum_{\ell=1}^N \sum_{(n,m)} A_{\ell nm} \exp(-i\theta_{\ell nm}) H_n(a_{x\ell n} s_x + b_{x\ell n}) H_m(a_{y\ell m} s_y + b_{y\ell m}) \times \exp\left[-\frac{k}{2}(\alpha_{x\ell n} s_x^2 + \alpha_{y\ell m} s_y^2)\right] \exp[-i(V_{x\ell n} s_x + V_{y\ell m} s_y)], \quad (1)$$

Burada $\alpha_{x\ell n} = \left[1/(k\alpha_{xx\ell n}^2)\right] + i/F_{x\ell n}$, $\mathbf{s} = (s_x, s_y)$ kaynak koordinatı, z yayılım eksen, ℓnm mod, ℓ çok mod'lu set adedi, nm indeksi ℓ . set içindeki spesifik mod, $A_{\ell nm}$ parametresi (ℓnm) mod'unun kaynak düzlemi orijinindeki genliği, $\theta_{\ell nm}$ sabit faz faktörüdür. H_n ve H_m Hermite polinomlarını ifade eder ve s_x, s_y yönlerindeki alan dağılımlarını belirler, $a_{x\ell n}$ ve $a_{y\ell m}$ Hermite polinomlarının s_x, s_y yönlerindeki genişliklerini, $b_{x\ell n}$ ve $b_{y\ell m}$ ise Hermite polinomlarının s_x, s_y yönlerindeki kaymalarını karakterize eder, $i = (-1)^{1/2}$, $k = 2\pi/\lambda$, λ dalgaboyunu, $\alpha_{xx\ell n}$ ve $F_{x\ell n}$ Gauss hüzmelerinin s_x yönündeki kaynak boyutu ve odak uzunluğunu, $V_{x\ell n}$ parametresi s_x yönündeki kompleks kaymayı ifade eder. İlgili parametrelerin s_y yönündeki değişimlerini ifade etmek için parametrelerdeki x 'lerin yerine y yazılmalıdır.

Eşitlik (1)'de verilen kaynak alanı Huygens Fresnel integraline yerleştirilip integral alındıktan sonra genel beam için alıcı düzlemindeki alan aşağıda belirtildiği şekilde bulunur.

$$\begin{aligned}
u^{FS}(\mathbf{p}, z) = & \sum_{\ell=1}^N \sum_{(n,m)} A_{\ell nm} e^{ikz} e^{-i\theta_{\ell nm}} \left[1 - \frac{2ia_{x\ell n}^2 z}{k(1+i\alpha_{x\ell n} z)} \right]^{n/2} \left[1 - \frac{2ia_{y\ell m}^2 z}{k(1+i\alpha_{y\ell m} z)} \right]^{m/2} \\
& \times \frac{1}{(1+i\alpha_{x\ell n} z)^{1/2}} \frac{1}{(1+i\alpha_{y\ell m} z)^{1/2}} \exp \left[-\frac{iV_{x\ell n}^2 z}{2k(1+i\alpha_{x\ell n} z)} \right] \exp \left[-\frac{iV_{y\ell m}^2 z}{2k(1+i\alpha_{y\ell m} z)} \right] \\
& \times \exp \left[-\frac{k\alpha_{x\ell n}}{2(1+i\alpha_{x\ell n} z)} p_x^2 \right] \exp \left[-\frac{iV_{x\ell n}}{(1+i\alpha_{x\ell n} z)} p_x \right] \\
& \times \exp \left[-\frac{k\alpha_{y\ell m}}{2(1+i\alpha_{y\ell m} z)} p_y^2 \right] \exp \left[-\frac{iV_{y\ell m}}{(1+i\alpha_{y\ell m} z)} p_y \right] \\
& \times H_n(\beta_{1x\ell n} + \beta_{2x\ell n} p_x) H_m(\beta_{1y\ell m} + \beta_{2y\ell m} p_y), \tag{2}
\end{aligned}$$

Eşitlik (2)'de $\mathbf{p} = (p_x, p_y)$ alıcı düzlemindeki koordinatı belirir ve

$$\beta_{2x\ell n} = \frac{a_{x\ell n}}{(1+i\alpha_{x\ell n} z)^{1/2}} \frac{1}{\left\{ 1 - iz \left[\frac{2a_{x\ell n}^2}{k} - \alpha_{x\ell n} \right] \right\}^{1/2}}, \tag{3}$$

$$\beta_{1x\ell n} = \beta_{2x\ell n} \left[\frac{a_{x\ell n} V_{x\ell n} z + kb_{x\ell n} (1+i\alpha_{x\ell n} z)}{ka_{x\ell n}} \right], \tag{4}$$

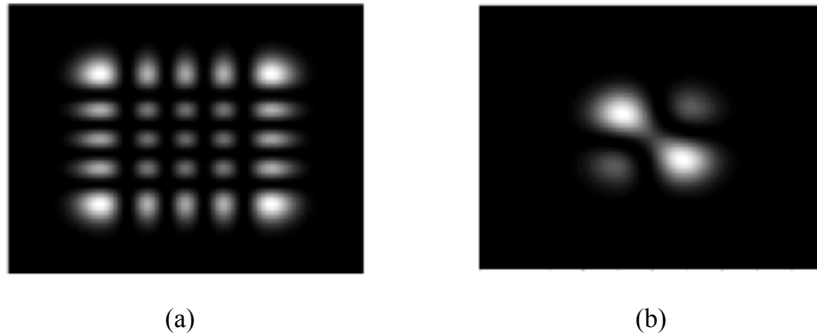
şeklinde dir.

Eşitlik (2)'de verilen alan kompleks eşleniğiyle çarpılarak, genel hüzmeye için boşlukta yayıldıktan sonraki alıcı düzleminde oluşan ışık şiddeti formüle edildi. Elde edilen ışık şiddeti MATLAB ile programlanarak farklı hüzmeler için alıcı düzlemindeki ışık şiddeti profilleri simüle edildi. Bu şekilde, yüksek dereceli tek ve çok modlu, Hermite-sinüsoidal-Gauss ve yüksek dereceli halkasal Gauss gibi yapılarla indirgenebilen farklı formlardaki ışık kaynağı hüzmelerinin boşlukta yayılım mesafesi boyunca alıcı düzleminde oluşan ışık şiddeti profillerini izleyebilmek mümkün olmaktadır.

3. Bazı Örnek Hüzmeler için Simülasyon Çıktıları

Bu bölümde örnek olarak seçilen farklı hüzmelerin kaynak ve çeşitli alıcı düzlemlerindeki ışık şiddeti profilleri simülasyon çıktısı olarak gösterildi.

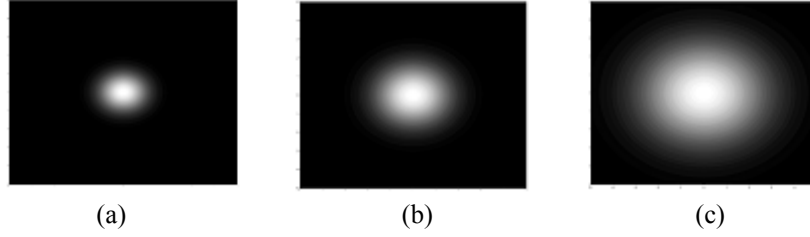
Şekil 1. kaynak düzleminde iki çeşit hüzmeyi göstermektedir.



Şekil 1. (a) Yüksek dereceli tek modlu ışık hüzmelerinin kaynak düzlemindeki ışık şiddeti
(b) Çok modlu ışık hüzmelerinin kaynak düzlemindeki ışık şiddeti

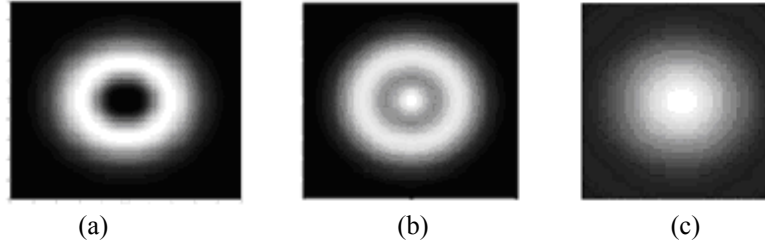
Şekil 1(a). yüksek dereceli tek modlu kaynak için olup kaynak parametreleri $N = 1$, (dolayısıyla $\sum_{\ell=1}^N$ ortadan kalkar), tek (n, m) set'i, $n = m = 4$, $a_{x1n} = a_{y1m} = 1/\alpha_s$, $\alpha_{sx1n} = \alpha_{sy1m} = \alpha_s$, $V_{x1n} = V_{y1m} = 0$, $F_{x1n} = F_{y1m} = \infty$ ve $b_{x1n} = b_{y1m} = 0$ şeklindedir. Şekil 1(b). ise çok mod'lu kaynak için olup kaynak parametreleri $N = 2$, çift (n, m) set'i, $(n, m) = (0, 0)$ ve $(1, 1)$, $a_{xtn} = a_{ytm} = 1/\alpha_s$, $\alpha_{sxtn} = \alpha_{sytm} = \alpha_s$, $V_{xtn} = V_{ytm} = 0$, $\theta_{tnm} = 0$, $F_{xtn} = F_{ytm} = \infty$ ve $b_{xtn} = b_{ytm} = 0$ şeklindedir.

Şekil 2. Gauss formunda bir ışık hüzmesinin boşlukta yayılmasıyla oluşan ışık şiddeti profillerinin $z = 0$ km, $z = 1$ km ve $z = 2$ km'deki simülasyon çıktılarıdır.



Şekil 2. Gauss formunda bir ışık hüzmesinin (a) $z = 0$ km, (b) $z = 1$ km ve (c) $z = 2$ km'deki ışık şiddeti

Şekil 3. halkasal Gauss yapısındaki bir ışık hüzmesinin [2] boşlukta yayılmasıyla oluşan ışık şiddeti profillerinin $z = 0$ km, $z = 1$ km ve $z = 2$ km'deki simülasyon çıktılarıdır.



Şekil 3. Halkasal Gauss yapısındaki bir ışık hüzmesinin (a) $z = 0$ km, (b) $z = 1$ km ve (c) $z = 2$ km'deki ışık şiddeti

Uygun kaynak parametrelerinin simülasyona girilmesiyle, yüksek dereceli tek modlu, çok modlu, Gauss, Hermite-sinüsoidal-Gauss, yüksek dereceli halkasal Gauss ve bu hüzmelerin bütün kombinasyonlarının boşlukta yayılırken yayılım eksenine dik herhangi bir düzlemde oluşan ışık şiddetini görsel olarak izleyebilmek imkanı mevcuttur.

4. Sonuç

Parametreleri bilinen bir lazer kaynağından oluşan bir ışık hüzmesinin boşlukta yayılımı boyunca ışık şiddeti değişiminin gözlenebildiği bir yazılım hazırlandı. Bu simülasyon sayesinde farklı yapıdaki lazer hüzmelerinin boşlukta izlediği yol boyunca oluşturduğu ışık şiddeti profilleri görüntü formatında gözlenebilmektedir. Bu makalede yüksek dereceli tek modlu, çok modlu, Gauss ve halkasal Gauss yapılarındaki hüzmeler için simülasyon çıktıları örnek olarak verilmiştir. Tasarınlanmış simülasyon çok daha kapsamlı olup ilaveten Hermite-sinüsoidal-Gauss, yüksek dereceli halkasal Gauss ve bu hüzmelerin bütün kombinasyonları için kaynak ve alıcı düzlemlerindeki ışık şiddeti profillerini simülasyon çıktısından gözlemleyebilmek mümkün olmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Baykal Y., "Formulation of correlations for general-type beams in atmospheric turbulence," J. Opt Soc. Am. A, 23(4) s. 889-893, 2006.
- [2]. Eyyuboğlu H.T., Altay S., ve Baykal Y., "Propagation characteristics of higher-order annular Gaussian beams in atmospheric turbulence," Opt. Commun., 264 s. 25-34, 2006.