

光無線給電における補正フィルタの設置位置の検討

Consideration of Installation Position of Correction Filter in Optical Wireless Power Transfer

寺内 彩緒莉[†] 小川 賀代[†]Saori TERAUCHI[†] Kayo OGAWA[†][†] 日本女子大学理学部数物情報科学科[†] Faculty of Science, Japan Women's University

1. はじめに

無線給電の中でも光無線給電は既存の無線給電方式に比べ長距離への給電が可能、電磁雑音の影響を与えないなどの特徴を持つ。しかし、長距離伝搬の際、大気乱流の影響による、受信強度の減衰が課題となる。これを改善するために、我々は搬送波にラゲールガウスビームを用い、受信機側に補正フィルタを設置する方法を提案してきた[1]。しかしこの検討では、伝搬距離数 km の検討にとどまっている。長距離の光無線給電の応用には送電インフラが挙げられ、数十 km の伝送が求められる。長距離伝搬になるほど、ビーム径が広がるため、補正フィルタも合わせて拡大する必要があり、本手法の効果については未検証である。また、レーザー方式光無線給電の光学系を線形システムと仮定すると、補正フィルタの位置を送信機側に設置しても受信強度の改善が期待できる。そこで本研究では、更なる長距離伝搬における補正フィルタの設置位置の検討を行う。

2. 補正フィルタを用いた提案システム

補償光学は、伝搬によって歪んだ光波面をリアルタイムで測定し、その波面の位相共役像を用いて波面の歪みを修復する。そのためシステムが複雑で、高価なセンサやデバイスが必要となる。そこで我々は、システムの簡易化として、同距離の真空中を伝搬した波面の位相共役像を補正フィルタとして用いることを提案し、受信強度の改善を実現した[1]。

従来は補正フィルタを受信機の直前に設置していたが、本研究では数十 km の長距離伝搬を想定し、送信機側に補正フィルタを設置した場合についても検討を行った。このとき、補正フィルタを作成する受信強度分布は送信ビーム径より大きいため、送信ビーム径と同サイズになるよう縮小し、補正フィルタとした。提案システムの概要を図 1 に示す。

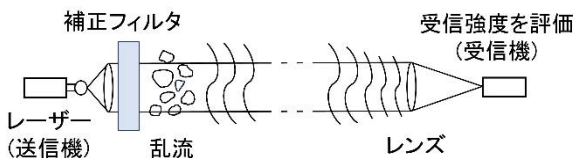


図 1 提案システム

3. 大気乱流伝搬シミュレーション

本研究では乱流に耐性のあるラゲールガウス(LG)ビームを用いる。LG ビームは近軸近似下におけるヘルムホルツ方程式の円筒座標系における固有解である。これを式(1)に示す。

$$U_{pl}(r, \theta) = \left(\frac{\sqrt{2}r}{W_0}\right)^{|l|} (-i)^l \exp(i l \theta) \exp\left(-\frac{r^2}{W_0^2}\right) L_p^{|l|}\left(\frac{2r^2}{W_0^2}\right) \quad (1)$$

$L_p^{|l|}(x)$ はラゲールの陪多項式である。 W_0 はTEM₀₀モードの波面のビーム半径を示し、 p は動径方向の指数、 l は方位角方向の指数である。 $l = p = 0$ のとき、式(1)はガウスビームの複素分布と一致する。また、 $p = 0$ のときに OAM モードとなる。

大気乱流中の伝搬計算はスプリットステップビーム伝搬法(SSBPM)を用いた。SSBPM は光波伝搬をいくつかの区間に分割して、各区間における波動伝搬を高速フーリエ変換によって逐次的に求める手法である。大気揺らぎの空間周波数のパワースペクトルである屈折率パワースペクトル密度関数は、式(2)に示す von Karman スペクトルを用いた。

$$\Phi_n(f) = 0.023 \frac{4\pi^2}{\kappa^2 z C_n^2} \times \frac{\exp(-f^2/f_l^2)}{(f^2 + f_0^2)^{11/6}} \quad (2)$$

ここで、 κ は波数、 z は伝搬距離、 C_n^2 は屈折率構造パラメータである。また、 f は空間周波数であり、 $f_l = 5.92/2\pi l_0$ 、 $f_0 = 1/L_0$ である。 l_0 が微視的スケール(内部スケール)、 L_0 が巨視的スケール(外部スケール)である。

4. シミュレーション実験結果

比較的強い乱流である $C_n^2 = 10^{-13} m^2/3$ において、伝搬距離 2km、10km における OAM の伝搬計算を行った。受信機における受信効率を表 1 に示す。伝搬距離 2km においては、補正フィルタを送信機側より受信機直前に設置した方が改善幅が大きく、補正なしよりも 1.5dB 程度改善されることが確認できる。伝搬距離 10km においては、補正フィルタを受信機直前より送信機側に設置した方が改善幅が大きく、LG(0, 7)では補正なしよりも 2dB 程度改善されることが確認できる。

表 1 受信効率のまとめ

	受信効率(dB)			受信効率(dB)		
	2km			10km		
	フィルタ補正なし	受信機側のフィルタ補正	送信機側のフィルタ補正	フィルタ補正なし	受信機側のフィルタ補正	送信機側のフィルタ補正
LG(0,0)	-4.744	-4.521	-4.720	-36.940	-37.565	-37.531
LG(0,1)	-5.066	-4.214	-4.468	-36.772	-38.157	-38.029
LG(0,3)	-5.264	-4.199	-5.569	-37.511	-37.977	-37.458
LG(0,5)	-5.663	-4.121	-6.138	-37.136	-37.960	-36.539
LG(0,7)	-6.588	-4.199	-4.519	-37.835	-36.853	-35.573

5. 今後の課題

長距離光無線給電の受信強度の改善を目指し、補正フィルタの設置位置について検討を行った。その結果、伝搬距離 2km では受信機直前に設置した方が、伝搬距離 10km では送信機側に設置した方が改善されることが確認できた。今後、高次の LG ビームを適用したときの検討を行う。

参考文献

- [1] M. Tatsutomi, et al., OWPT2019, OWPT-P-13 (2019)