

半径が小さい円筒面走査近傍界・遠方界変換による指向性推定の誤差評価

浅野 翔平, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科), 澤谷 邦男 (東北大学イノベーション戦略推進本部)
王 琳, 洪 哲 (日本電業工作株式会社)

概要: 軸対称のアレーアンテナに対して, 半径が小さい円筒面走査近傍界・遠方界変換による指向性推定の数値計算結果を述べている. 軸方向の走査範囲の打ち切りによって遠方界に推定誤差が生じるので, 推定誤差の標準偏差を求め, 誤差と走査半径及び走査範囲の関係を明らかにしている.

キーワード: アンテナ測定, 指向性測定, 円筒面走査, 近傍界・遠方界変換

表 1 数値計算で用いるパラメータ.

ダイポール素子の長さ	$2h = 0.5\lambda$
素子間隔	$d = 0.75\lambda$
積分間隔	$\Delta z' = 0.1\lambda$

1. まえがき

アンテナの遠方界即ち指向性を測定するためには, アンテナから十分離れた位置で放射界を測定する必要があり, 大形で高利得のアンテナの場合, 遠方界となる距離が極めて遠くなるので, 広い測定サイトが必要となり, 指向性の測定が困難になる. 近傍界・遠方界変換技術はアンテナの近傍界を測定することにより遠方界を推定する手法であり, 高利得・大形アンテナの指向性を推定する際に極めて有用である. 円筒面走査近傍界・遠方界変換技術は近傍界・遠方界変換技術の一つであり, 移动通信の基地局アンテナのような長い形状のアンテナに適した手法である[1],[2].

この手法に関するこれまでの研究では, 走査する円筒の半径は数波長以上であったが, 特に低い周波数帯では走査する円筒の半径は大きくなり, 近傍界推定の装置が大形になってしまう.

そこで本報告では, 走査する円筒の半径の小さい場合について, 軸方向の走査範囲の打ち切りによって生じる遠方界の推定誤差について数値計算を行い, 誤差と走査半径及び走査範囲の関係を明らかにする.

2. 推定方法

本論文で用いられている近傍界・遠方界変換の構成を図1に示す. コリニアダイポールアレーアンテナがz軸上に並べられている. ダイポール素子の長さは $2h$ であり, 各ダイポール素子の電流分布は正弦状であると仮定した. 例えば, 原点に配置したダイポール素子の電流分布は

$$I(z') = \frac{I_0}{\sin kh} \sin k(h - |z'|). \quad (1)$$

で与えられるものと仮定している. ここで, k は真空における平面波の波数であり, I_0 は給電点の電流である.

円筒面走査を用いた近傍界・遠方界変換は, Schelkunoffの等価定理に従って表面電界を面磁流で置き換え, 無限長

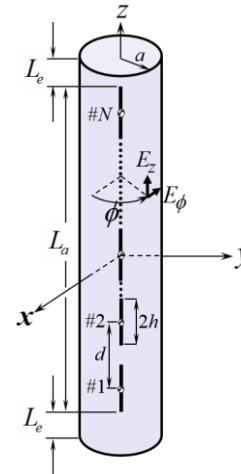


図1 軸対称のN素子コリニアダイポールアンテナの形状と円筒走査面.

円筒導体が存在する空間のdyadic Green's functionを用いて求めた. 図1の軸対称アンテナの場合の近傍界・遠方界変換

$$E_\theta(\theta) \sim -\frac{j}{2\pi^2 \sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{1}{H_0^{(2)}(ka \sin \theta)} \int_{-\infty}^{\infty} E_z(\rho' = a, z') dz'. \quad (2)$$

で与えられる. (1)式において, z' に関する積分範囲は, $-\infty$ から ∞ であるが, 実際の測定における操作範囲は有限であるので, ここで積分範囲は, $-(L_c + L_a/2)$ から $L_c + L_a/2$ とし, この走査範囲の打ち切りによって生じる推定誤差を検討する. ここで, 図1に示す通り, L_a はアレーアンテナの全長であり, L_c は L_a を越えて走査する長さを表しており, 余剰走査範囲と呼ぶことにする.

各々の素子から生じる近傍電界のz成分は, 簡単な式で表現できる. 例えば原点に置いてあるダイポール素子から生じる電界のz成分は,

$$E_z(a, \phi, z) = -j \frac{Z_0 I_0}{4\pi \sin kh} \left(\frac{e^{-jk r_1}}{r_1} + \frac{e^{-jk r_2}}{r_2} - 2 \cos kh \frac{e^{-jk r_0}}{r_0} \right), \quad (3)$$

$$r_0 = \sqrt{a^2 + z^2}, \quad r_1 = \sqrt{a^2 + (z+h)^2}, \quad r_2 = \sqrt{a^2 + (z-h)^2}.$$

で与えられる.

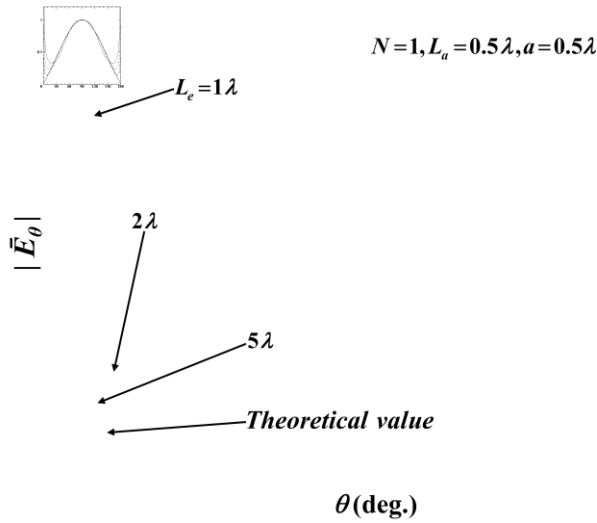


図2 推定されたダイポールアンテナ単体の遠方界.

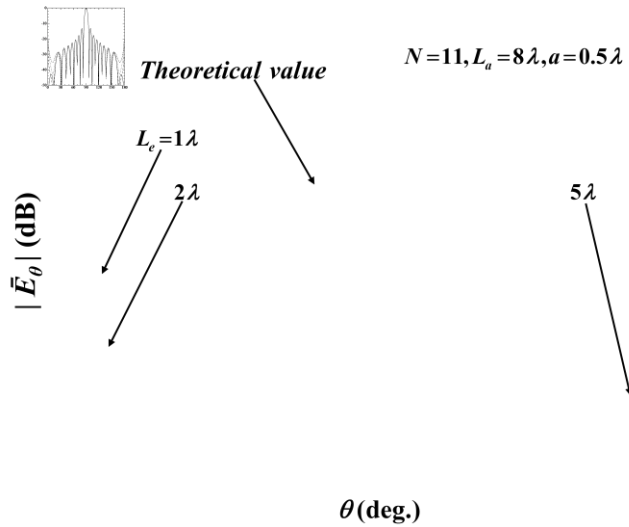


図3 推定されたダイポールアレーアンテナの遠方界.

3. 推定した放射パターン

(2)式を用いて近傍界・遠方界変換を行った。ここで、 z' に関する数値積分は走査ステップ $\Delta z'$ とし、台形公式を用いた。数値計算に用いたパラメータを表1に示す。

図2, 3に以下の式で定義する規格化した放射パターンを示す。

$$\bar{E}_\theta(\theta) = E_\theta(\theta) / E_\theta^{th}(\theta = \pi/2). \quad (4)$$

で定義される規格化した放射パターンを示す。ここで、

E_θ^{th} は遠方電界の理論値であり、

$$E_\theta^{th}(\theta) = j \frac{Z_0 I_0}{2\pi \sinh kr} \frac{e^{-jkr} \cos(kh \cos \theta) - \cosh kh}{r \sin \theta} f(\theta),$$

$$f(\theta) = I_0 \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)}, \quad \psi = k d \cos \theta. \quad (5)$$

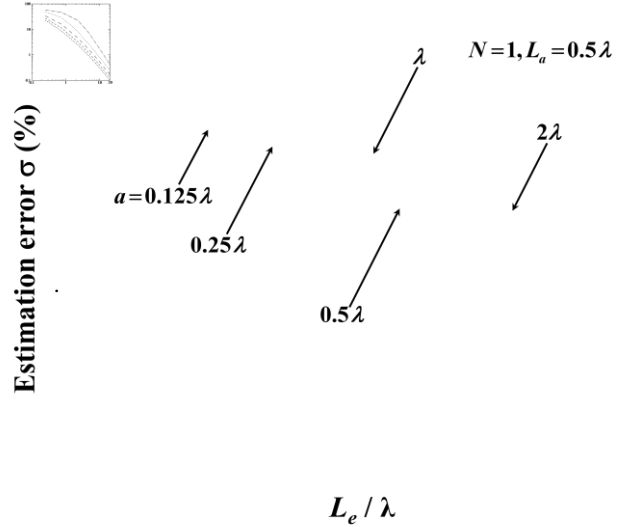


図4 ダイポールアンテナ単体の放射指向性の推定誤差.

で与えられる。図2は単素子ダイポール($N=1$)、図3は11素子のアレーアンテナ($N=11$)の推定した放射指向性を示す。 θ が0と π に近づくほど、推定誤差が大きくなるのがわかる。また、余剰走査範囲 L_c が短くなるにつれて、推定誤差は大きくなる。これは走査範囲が有限であるために、近傍界・遠方界変換が θ が0と π 付近では無効であることを示している。しかし、移動体通信の基地局アンテナのようなブロードサイドアレーアンテナの場合、 θ が0と π 付近での誤差はあまり重要ではない。

4. 推定誤差の評価

推定誤差、走査半径 a 、余剰走査範囲 L_c の関係を明らかにするために、推定誤差の標準偏差を

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(\theta_2 - \theta_1) |E_\theta^{th}(\theta = \pi/2)|^2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} |E_\theta^{th} - E_\theta|^2 d\theta}. \quad (6)$$

で定義する。ここで、 E_θ^{th} は(5)式で定義された理論値であり、 E_θ は推定値である。また、 θ_1 と θ_2 は θ が0と π 付近で生じる大きな推定誤差を避けるために導入し、実際の数値計算では $\theta_1 = 10^\circ$ 、 $\theta_2 = 170^\circ$ を用いた。

図4, 5にはそれぞれ、単素子ダイポール($N=1$)と11素子のアレーアンテナ($N=11$)の推定誤差 σ を示す。走査半径 a が増加し、また余剰走査範囲 L_c が減少するほど推定誤差 σ は増加する。

実際の近傍界・遠方界変換において必要となる走査半径 a と余剰走査範囲 L_c を明らかにするために、ある推定誤差を得る走査半径 a と必要な余剰走査範囲 L_c を計算した。図6, 7, 8はそれぞれ推定誤差が2%、1%、0.5%となるために必要な a と L_c を示す。走査半径 a が増加するほどより大きな余剰走査範囲が必要である。

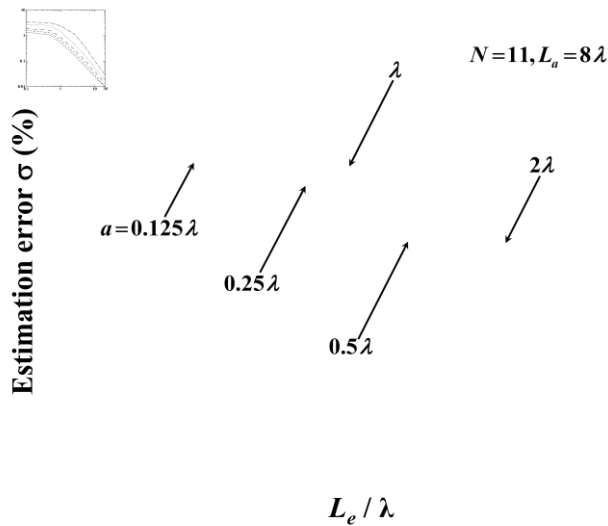


図5 ダイポールアレーアンテナの放射指向性の推定誤差.

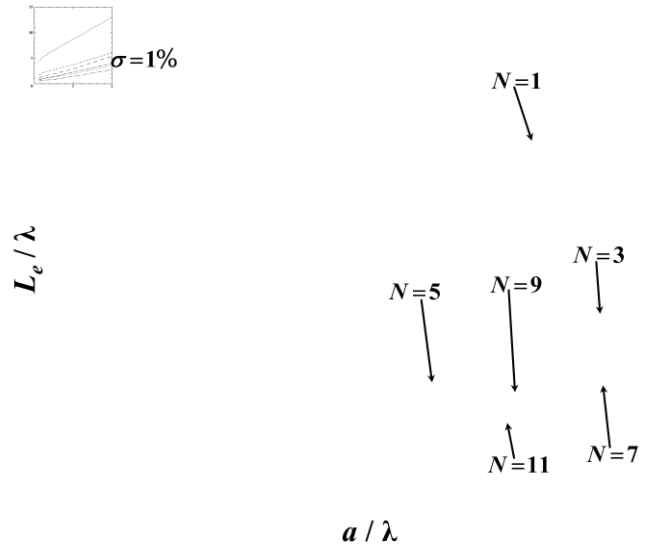


図7 推定誤差 $\sigma=1\%$ を得るために必要な走査半径 a と余剰走査範囲 L_e .

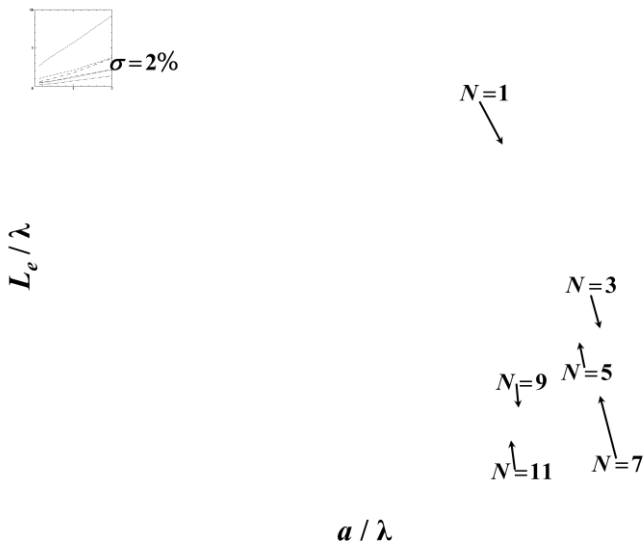


図6 推定誤差 $\sigma=2\%$ を得るために必要な走査半径 a と余剰走査範囲 L_e .

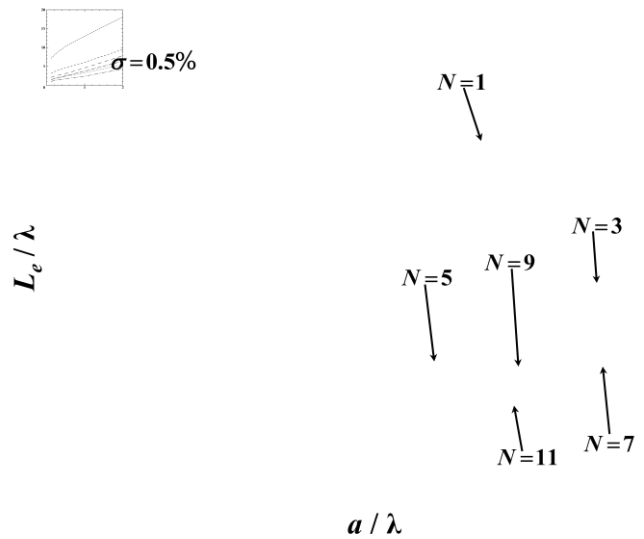


図8 推定誤差 $\sigma=0.5\%$ を得るために必要な走査半径 a と余剰走査範囲 L_e .

またアンテナの素子数が増えるほど、必要な余剰走査範囲は短くなる。この傾向は実際の基地局アンテナなどへの応用を考えたとき、望ましい傾向である。

図9,10は推定誤差が $\sigma=1\%$ となる走査半径 a と余剰走査範囲 L_e を用いて推定した放射指向性である。図9は単素子ダイポール($N=1$)の場合を示す。 $10^\circ < \theta < 170^\circ$ の範囲で精度良く放射指向性が推定されていることが分かる。図10はアレーアンテナ($N=11$)の場合を示す。 $\theta \approx 0, \pi$ で推定誤差が見られるが、この付近の電界レベルは極めて小さいので、大きな問題にはならない。

5. むすび

本報告では、半径が小さい円筒面走査近傍界・遠方界変換を用いて軸対称のダイポールアレーアンテナの放射指向性を数値シミュレーションにより推定した結果を述べた。また、軸方向に対する走査範囲の打ち切りによって推定誤差が生じるので、推定誤差、走査半径 a と余剰走査範囲 L_e の関係を計算した。これより、与えられた推定誤差を得るために必要となる軸方向の走査範囲と走査半径 a を定量的に明らかにすることができた。

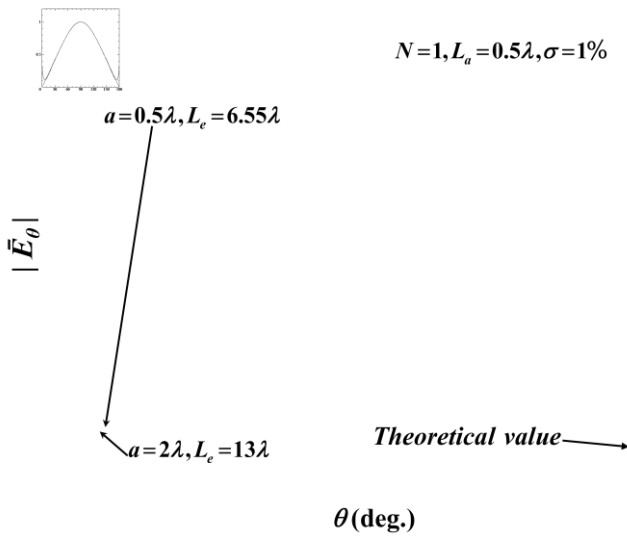


図9 推定誤差 $\sigma=1\%$ を得る走査半径 a と余剰走査範囲 L_c を用いて推定したダイポールアンテナ単体の放射指向性.

本研究では、軸対称のダイポールアレーアンテナについて述べたが、水平ダイポールアレーアンテナのような非対称な構造に関する研究が必要であり、今後の課題である。

参考文献

- [1] B. E. Fischer and I. J. LaHaie, "On the Direct Non-Redundant Near-Field-to-Far-Field Transformation in a Cylindrical Scanning Geometry," *IEEE Antennas Propagat. Magazine*, 54(1), Feb. 2012.
- [2] J.-C. Bolomey et al., "Reduction of Truncation Error in Near-Field Measurement of Antennas of Base-Station Mobile Communication Systems," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* 52(2), Feb. 2004.

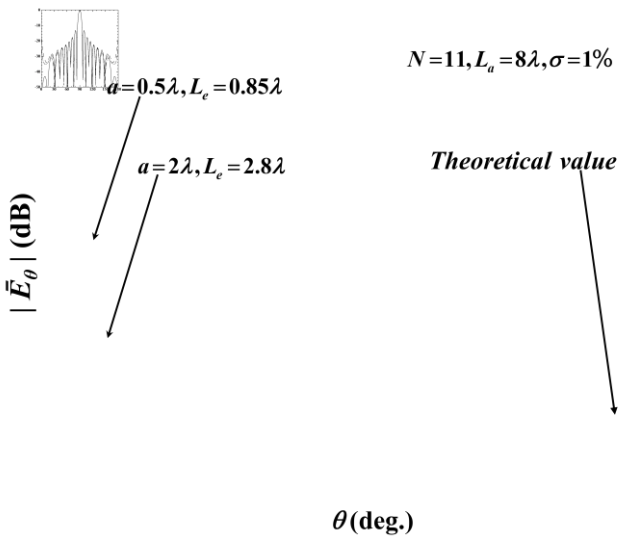


図9 推定誤差 $\sigma=1\%$ を得る走査半径 a と余剰走査範囲 L_c を用いて推定したダイポールアレーアンテナの放射指向性.