遺伝的アルゴリズムを用いた 不等間隔リニアアレーアンテナの給電方法の簡略化

大久保 茂*

A Simplification of Feed Systems of a Nonuniformly Spaced Linear Array Antenna Using Genetic Algorithm

Shigeru OKUBO*

In an array antenna which arranges a large number of radiating elements, desired directivities and gains are easily obtained. Designs, productions, inspections and maintenances are simplified by considering an array antenna as some aggregates of subarrays. And the reduction in cost can be carried out, too. Genetic Algorithm is an influential learning algorithm of the optimum solutions, and it is a possible technique to effectively retrieve the solution in difficult combinational problems with the restriction. In this paper, the array antenna is divided into some subarrays. The antenna element spacings are controlled using Genetic Algorithm in order to get the low sidelobes in the far field pattern. So, the array antenna becomes a space tapered array antenna. Then, the current distribution of the array antenna can be approximated to Taylor distribution by combining some subarrays having the same current distributions so that the simplification of the feed system becomes possible.

Key Words: genetic algorithm, array antenna, subarray, space tapered array

1. ま え が き

無線通信において所望の放射指向性, ビーム幅, サイドロープレベル, 指向性の零点の位置, 利得等の制御は, アレーアンテナの指向性合成を行うことにより容易に実現できる. また, メインビームを立体的に動かすビーム走査では, 電子的に給電波源を変化させることにより可能となるが, 機械的に行う方法もある. しかし, 走査速度, 操作性および機能性を考慮すると電子的に走査するのが一般的である. この方法を用いているのが三次元レーダである. このレーダでは, アレーアンテナより放射されるペンシルビームをアレーアンテナを固定したまま, 電子的に走査し, 飛翔物体の方向角と距離のほか高度の情報を得ることができる^{1),2)}.

アレーアンテナでは, 多数の放射素子を配列するため, 自由度も高く配列方法も1次元から3次元まであらゆる配列が可能である. それで, 所望の指向性や利得等が得られやすい反面, 制御対象が多く存在し複雑化するのでコストも比例して高くなる. しかし, アレーアンテナをサブアレーの集合体として扱うことにより, 給電系を簡易に構成することが可能

となりコストの削減ができる. アンテナ素子の振幅係数を A とし, それが属するサブアレーの振幅係数を W とすると, 最終的にはそのアンテナ素子には $A \times W$ の値が給電されることになる. また, サブアレー化することにより自由度は減少するが, 設計, 製作, 検査および保守が簡単になりコストの軽減を図ることができる³⁾. 簡易な給電系として各サブアレー内のアンテナ素子の A をサブアレーごとに一様にし, 各サブアレーの W に重みづけして給電する方法が提案されている³⁾. この場合遠方界指向性においてグレーティングローブ(サイドロープレベルの高いローブ)が発生し, 低サイドローブの遠方界指向性が得られない欠点がある.

パラメータが多い問題において, 比較的短時間で最適解に近い実用解を得られる方法に遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, 以後 GA)がある. これは, John. H. Holland により 1975 年に導入された⁴⁾. 解の探索と最適化の有力な学習アルゴリズムであり, 選択・淘汰・交叉・突然変異などによる生物進化の原理を用いているのが特徴である. その枠組みが適用分野にあまり依存せず, 汎用的な最適化アルゴリズムであることや厳密な最適解を求められない問題においては, 従来のアルゴリズムに比べて非常に短時間で実用解を得られることなどから応用研究が盛んに行われている⁵⁾. GA は従来の探索手法では困難な問題, 特に制約付き組合せ問題において効果的に解の検索を行うことができる手法である.

本論文では, 給電系の簡略化と遠方界指向性にグレーティ

* 福井工業高等専門学校 鯖江市下司町

* Fukui National College of Technology, Geshi-cho
Sabae-shi

(Received February 17, 2000)

(Received December 21, 2000)

ングローブが発生しないように、リニアのアレーアンテナをサブアレー化し、サブアレーを構成するアンテナ素子同士の間隔はGAを用いて一定範囲で制御し、同一の波源値分布のサブアレーを組合せる。アレーアンテナの波源分布がテラ分布⁹⁾になるようサブアレーへの給電振幅を求めることにより、給電方法の簡略化が図られることを示している。

2. アレーアンテナの構成

本論文で用いるアレーアンテナの概略の一例をFig. 1に示す。サブアレー7個でメインアレーを構成し、そのサブアレーは5本のアンテナ素子で構成されている。このメインアレーを左右対称に配置し、計70本のアンテナ素子を用いている。アレーアンテナは、多数のアンテナ素子を用いるのが一般的であるが、計算時間や本手法の概念が把握できる範囲で、数個のサブアレーを構成できる素子数である70本のアンテナ素子でなるアレーアンテナを用いている。また、アンテナ素子は全て無指向性であり、アンテナ全長 34.5λ 、各サブアレー長およびサブアレー内の1番目の素子の位置を固定したまま、各サブアレー内の素子間隔を最小 $1/4\lambda$ から最大 1λ の範囲で不等間隔に配置されている。ただし、 λ は使用波長である。ここで、アレーアンテナ全長は一般的にアレーアンテナで用いられる素子間隔の $\lambda/2$ を考慮して $(70-1)\times\lambda/2=34.5\lambda$ とした。サブアレーに与える係数をウェイト W とし、サブアレー内の各アンテナ素子に給電される値を波源値 A とすると、メインアレーの各アンテナ素子に最終的に給電される値は $A\times W$ で算出される⁷⁾。

理想的な波源としては、遠方界指向性のサイドローブレベルが $-30[\text{dB}]$ 以下になるテラ分布を用いて、サブアレーの中心素子(Fig. 1中では、E3, E8, ..., E33)の最終的な給電振幅($A\times W$)はテラ分布の値を与え、さらにその値をその素子が属するサブアレーのウェイト(W)とする。よって中心の素子の波源値(A)は1となる。また、サブアレー内の中心素子以外の素子の波源値はアンテナ素子間隔をGAによりもとめてから算出し、同一のサブアレーの波源値分布と各サブアレーのウェイトを用いてテラ分布の波源分布に近似する。上述のことにより、各サブアレーのウェイトはそれぞれ異なるが、各サブアレーの波源値分布がすべて同一なので、

Fig. 1 Array antenna

Fig. 2 Diagram of nonuniformly spaced Linear array

給電系の簡略化が図られる。

アンテナ素子間隔、各素子の給電振幅および各サブアレーのウェイトの決定手順をFig. 2を用いて説明し、その概略をFig. 3に示す。一例として、サブアレーがアンテナ素子5本で構成され、波源値分布が1種類の場合について下記に述べる。

① サブアレー長を決定するため、アンテナ素子が $\lambda/2$ 間隔で配列されている場合を考慮して、各サブアレー長の区切りは該当サブアレーに属する1番目の素子と隣接するサブアレーに属する最後の素子との間隔との中央とする。つまり、1番目の素子と区切りの間隔は $\lambda/4$ となる。同様に最後の素子と次のサブアレーの区切りとの間隔も $\lambda/4$ となる。サブアレーがアンテナ素子5本の場合、素子間隔が4つ存在するためサブアレー長を $\lambda/2\times 4(\text{素子間隔数})+\lambda/4(\text{サブアレー内の最初の素子とサブアレーの区切りとの距離})+\lambda/4(\text{サブアレー内の最後の素子とサブアレーの区切りとの距離})=2.5\lambda$ にする。ただし、各サブアレー長はすべて同じ長さにする。

② サブアレー内の1番目のアンテナ素子の位置をFig. 2に示すようにサブアレーの区切りから $\lambda/4$ 離れたところに固定し、アンテナ素子間隔 $d_1\sim d_4$ を最小 $\lambda/4$ から最大 1λ の範囲で変える。

③ サブアレーが7個存在するが各サブアレー内の1番目の素子は固定されているので、アレーアンテナ全長におけるそれぞれの位置が決定される。そのため、素子間隔を d_1 とすると各サブアレー内の2番目のアンテナ素子の位置が決まる。同様に $d_2\sim d_4$ とすると、各サブアレー内の3番目～5番目のアンテナ素子のアレーアンテナ全長における位置が決定されるので、全素子の位置が決定されたことになる。

④ 全素子の位置が決まることにより、各素子のテラ分布の給電振幅がFig. 4より求められる。ただし、Fig. 4は、理想的な波源分布(テラ分布)であり、横軸はアレーアンテナの長さ、縦軸は振幅を表している。Fig. 5は、そのときの遠方界指向性を示している。

⑤ 各サブアレーの中心素子のテラ分布の給電振幅を各サブアレーのウェイトとする。次に、該当サブアレー内の各素子のテラ分布より求めた給電振幅(B)をそのウェイトで割って各素子の理想的な波源値とする。各サブアレーについて

Fig. 3 Flowchart of optimizing element spacings and current distributions

て同様の操作を行う。

⑥ サブアレー内の n 番目のアンテナ素子の波源値は次式で求められる ($A_1 \sim A_5$)。

$$A_n = \left(\frac{\sum_{m=1}^7 \frac{B_{5(m-1)+n}}{W_m}}{7} \right) \quad (1)$$

W_m は m 番目のサブアレーのウェイト, A_n はサブアレー内の n 番目の波源値, B は理想的な給電振幅である。

⑦ GA で用いる評価関数はテラ分布の波源と上述した計算による給電振幅との偏差とし, 式(2)となる。

$$\text{評価関数} = \sum_{m=1}^7 \sum_{n=1}^5 (W_m A_n - T_i)^2 \quad (2)$$

ただし, $i = 5 \times (m-1) + n$, T_i はテラ分布による各素子の位置での理想的な給電振幅を示す。

⑧ GA で素子間隔を変えて評価関数の数値ができるだけ最小になる素子間隔より, 各素子の給電振幅およびウェイトが決定される。

本手法は, サブアレーが構成できるアンテナ素子数のサブアレーアンテナなら適用可能であり, 特に素子数が多くなればなるほど GA を用いる効果が大いと考えられる。

Fig. 4 Current distribution of a 30 dB Taylor distribution

Fig. 5 Far field pattern of a 30 dB Taylor distribution

アンテナ素子ごとに異なる給電振幅を与えるのではなく, 各サブアレーに同一の波源値分布を実現するメリットとして,

- ・同一の部品が使える
- ・給電波源の制御が容易になる
- ・保守や検査の簡単化が図れる

などが挙げられる。

また, 本論文では給電系の簡略化およびテラ分布の波源分布に対しての近似の程度をあわせて検討するため, サブアレーのアンテナ素子数を 7 本, 5 本および 3 本とした場合に, サブアレーに与える波源値分布をそれぞれ 1~3 種類用いて

3. 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムとは, シミュレーションを簡略化することができる手法で, Fig. 6 に示すようなアルゴリズムである^{8),9)}。

なお, 本論文では GA のパラメータを以下のようにした。

- ・遺伝子(サブアレーのアンテナ素子の素子間隔: d)を 3 ビットとする。これにより, 2^3 通りの種類の素子間隔を表現できる。

例 $(0)_{10}=0.25\lambda$ $(1)_{10}=0.375\lambda$ $(2)_{10}, (3)_{10}=0.5\lambda$

$(4)_{10}=0.625\lambda$ $(5)_{10}=0.75\lambda$ $(6)_{10}=0.875\lambda$ $(7)_{10}=1\lambda$

上記のように素子間隔を設定した場合で, 遺伝子が $(110)_2$ のときは以下のように素子間隔が表現できる。

$(110)_2 = (6)_{10} = 0.875\lambda$

- ・染色体は, (サブアレー内のアンテナ素子数-1)個の素子間隔を連続して並べて構成する。

例 サブアレーがアンテナ素子 5 本で構成する場合は下記のように $4 \times 3 = 12$ ビットで染色体が表現できる。

染色体 = 100110100010

$d_1 d_2 d_3 d_4$

- ・個体群の大きさは, サブアレーの波源値分布 1 種類あたり 8 個の染色体で構成する。サブアレーの波源値分布の種類が n で, アンテナ素子数が m の時,

$(8, 3 \text{ ビット} \times (m-1)) \times n$ となる。(Table 1 参照)

Fig. 6 Flowchart of Genetic Algorithm

Table 1 The size of populations

サブアレーの素子数	1種類の波源分布	2種類の波源分布	3種類の波源分布
アンテナ素子3本	$(8, 3 \times 2) \times 1$	$(8, 3 \times 2) \times 2$	$(8, 3 \times 2) \times 3$
アンテナ素子5本	$(8, 3 \times 4) \times 1$	$(8, 3 \times 4) \times 2$	$(8, 3 \times 4) \times 3$
アンテナ素子7本	$(8, 3 \times 6) \times 1$	$(8, 3 \times 6) \times 2$	$(8, 3 \times 6) \times 3$

例 $n=2, m=3$ の場合は, 下記のように6ビットで表す染色体が8つで構成される個体群を2個用いる.

101101	100001
101100	100011
011011	100100
100100	010001
001001	010010
011010	010100
001110	001001
010110	001010

・8個の染色体についてそれぞれ評価関数を計算して, 数値の小さい順に並び替える.

・下位4個の染色体を劣性染色体として淘汰し, 上位4個の染色体を優性染色体として, それらを交叉して新たな染色体を4個作製する. 優性染色体4個と新たに作製した染色体4個をあわせ, 新たな個体群を構築する.

・終了判定の条件は, ループの回数(500回)とする. これは, 100回程度以上で評価関数の数値に変化がなかったので余裕を見込んでループ回数500回としている.

・突然変異の発生率を0.25%とする. 突然変異を発生させることにより, ある程度の評価を持つ解の集団(極地)に収束していた染色体をよりよい解の集団の染色体に受け継ぐことができるが, 突然変異の発生率が大きいと最適解を持つ集団に収束しなくなるため, 本論文では個体数が少ないので交叉で充分対応できると判断して, 発生率を0.25%の小さい値を用いている.

4. 計算結果

4.1 サブアレーをアンテナ素子7本で構成する場合

サブアレーを構成するアンテナ素子の数を7本にし, そのサブアレーを5個にしたものをアレーアンテナとして用いる. また, 素子間隔をGAによって決定し, サブアレーに給電する1~3種類の波源値分布を求めた. これ以降の章では波源分布の実線はテラ分布の理論値を示し, 波源分布の+印と遠方界指向性の実線はGAによって求めた計算値を示す.

サブアレーを1種類の波源値分布を用いてテラ分布に近似した場合の波源分布と遠方界指向性のグラフがFig. 7である. テラ分布の値との偏差(評価関数の値)が0.0165と大きいので, 第1サイドローブも設計値である $-30[\text{dB}]$ を超えている.

計算結果の評価基準は, テラ分布との波源分布との偏差を用いているが, 同じ条件で評価関数をテラ分布の遠方界指向性との偏差(1° 間隔で求めた総和)とした場合, 波源分布

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 7 Approximated Taylor distribution with all identical subarrays (Subarray having 7 antenna elements)

との偏差を評価関数とした場合の約10倍の計算時間を要した. その場合の遠方界指向性は, Fig. 7と比べ第1サイドローブのレベルはほぼ同程度で, $\pm 60^\circ$ のサイドローブレベルは1 dB程度低くなるが遠方界指向性の顕著な改善が得られなかった. 計算時間と結果を考慮して, 評価基準をテラ分布の波源分布との偏差にした.

Fig. 8は, 2種類の波源値分布[1,2,3], [4,5]のサブアレーを用いた場合のグラフである. ただし, []の中の数字はサブアレーの番号を表し, それぞれのサブアレーは同一の波源値分布を有するものとする. 1種類にしたものと比較すると,

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 8 Approximated Taylor distribution with 2 groups of identical subarrays (Subarray having 7 antenna elements)

Fig. 9 Approximated Taylor distribution with 3 groups of identical subarrays (Subarray having 7 antenna elements)

テーラ分布の値との偏差が0.0034と約1/4にまで向上し、遠方界指向性も多少はなだらかな包絡線を描くようになった。

Fig. 9は、3種類の波源値分布[1,2,3], [4], [5]のサブアレーを用いた場合の計算結果である。テーラ分布の値との偏差は、0.0006と小さくなっているが、再び-30[dB]を超える第2サイドローブが発生している。

サブアレー内のアンテナ素子を7本で構成し、波源値分布を2種類、3種類と種類分けするにしたがって、テーラ分布値との偏差は小さくなるが、全体的に見るとテーラ分布の遠方界指向性より大きいサイドローブが様々なところから生じている。これは、アンテナ素子の間隔が極端に離れているところがあるためである。

4.2 サブアレーをアンテナ素子5本で構成する場合

サブアレーを構成するアンテナ素子の数を5本に変更し、そのサブアレーを7個組合せてアレーアンテナとして用い

る。GAで求めたアンテナ素子間隔を**Table 2**に、波源分布およびテーラ分布の波源分布の値との偏差を**Table 3**に示す。また、最下段にそれぞれ同じ条件でQuasi-Newton法¹⁰⁾を用いて計算したテーラ分布の波源分布との偏差も示している。どの場合もGAを用いた時の偏差が小さくなっている。また、1種類の波源値分布を用いた時、130 MHzのペンティアムプロセッサ搭載のデスクトップコンピュータでGAの場合は約1分、Quasi-Newton法ではその1.5倍程度の計算時間を要した。

サブアレーを1種類の波源値分布を用いてテーラ分布に近似した場合の結果が**Fig. 10**である。テーラ分布の値との偏差が0.0068となるが、 $\pm 20^\circ$ と $\pm 50^\circ$ の付近からテーラ分布の遠方界指向性より多少大きいサイドローブが発生している。

Fig. 11は、2種類の波源値分布[1,2,3,4], [5,6,7]のサブ

Table 2 Antenna element spacings by Genetic Algorithm (Subarray having 5 antenna elements)

	Subarray	Antenna element spacings (λ)			
	No.	(1 to 2)	(2 to 3)	(3 to 4)	(4 to 5)
Approximation with All Identical Subarrays [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]	[1 to 7]	0.375	0.375	0.25	0.25
Approximation with 2 Groups of Identical Subarrays [1, 2, 3, 4], [5, 6, 7]	[1 to 4]	0.25	0.25	0.5	0.75
	[5, 6, 7]	0.75	0.375	0.25	0.25
Approximation with 3 Groups of Identical Subarrays [1, 4], [2, 3], [5, 6, 7]	[1, 4]	0.25	0.25	0.875	0.625
	[2, 3]	0.5	0.375	0.5	0.875
	[5, 6, 7]	0.625	0.25	0.25	0.25

Table 3 Calculated element weights for a 30 dB Taylor amplitude taper distribution by Genetic Algorithm (Subarray having 5 antenna elements)

Subarray No.	Element No.	Approximation with All Identical Subarrays [1 to 7]			Approximation with 2 Groups of Identical Subarrays [1, 2, 3, 4], [5, 6, 7]			Approximation with 3 Groups of Identical Subarrays [1, 4], [2, 3], [5, 6, 7]		
		Weight	Element	Result	Weight	Element	Result	Weight	Element	Result
1	1	0.2754	0.9437	0.2599	0.2715	0.9511	0.2582	0.2715	0.9645	0.2619
	2		0.9710	0.2674		0.9748	0.2647		0.9815	0.2665
	3		1	0.2754		1	0.2715		1	0.2715
	4		1.0200	0.2809		1.0544	0.2863		1.0761	0.2922
	5		1.0404	0.2865		1.1449	0.3108		1.1404	0.3096
2	6	0.3575	0.9437	0.3374	0.3461	0.9511	0.3292	0.3635	0.8929	0.3246
	7		0.9710	0.3471		0.9748	0.3374		0.9523	0.3462
	8		1	0.3575		1	0.3461		1	0.3635
	9		1.0200	0.3646		1.0544	0.3649		1.0672	0.3879
	10		1.0404	0.3719		1.1449	0.3962		1.1929	0.4336
3	11	0.5002	0.9437	0.4720	0.4842	0.9511	0.4605	0.5083	0.8929	0.4539
	12		0.9710	0.4857		0.9748	0.4720		0.9523	0.4841
	13		1	0.5002		1	0.4842		1	0.5083
	14		1.0200	0.5102		1.0544	0.5105		1.0672	0.5425
	15		1.0404	0.5204		1.1449	0.5544		1.1929	0.6064
4	16	0.6676	0.9437	0.6300	0.6508	0.9511	0.6190	0.6508	0.9645	0.6277
	17		0.9710	0.6482		0.9748	0.6344		0.9815	0.6388
	18		1	0.6676		1	0.6508		1	0.6508
	19		1.0200	0.6810		1.0544	0.6862		1.0761	0.7003
	20		1.0404	0.6946		1.1449	0.7451		1.1404	0.7421
5	21	0.8217	0.9437	0.7754	0.8148	0.9733	0.7930	0.8285	0.9641	0.7988
	22		0.9710	0.7979		0.9844	0.8021		0.9904	0.8205
	23		1	0.8217		1	0.8148		1	0.8285
	24		1.0200	0.8381		1.0097	0.8227		1.0090	0.8360
	25		1.0404	0.8549		1.0464	0.8301		1.0174	0.8429
6	26	0.9345	0.9437	0.8819	0.9301	0.9733	0.9053	0.9388	0.9641	0.9051
	27		0.9710	0.9074		0.9844	0.9156		0.9904	0.9298
	28		1	0.9345		1	0.9301		1	0.9388
	29		1.0200	0.9532		1.0097	0.9391		1.0090	0.9472
	30		1.0404	0.9723		1.0464	0.9476		1.0174	0.9551
7	31	0.9927	0.9437	0.9368	0.9912	0.9733	0.9647	0.9941	0.9641	0.9584
	32		0.9710	0.9639		0.9844	0.9757		0.9904	0.9846
	33		1	0.9927		1	0.9912		1	0.9941
	34		1.0200	1.0126		1.0097	1.0008		1.0090	1.0030
	35		1.0404	1.0328		1.0464	1.0098		1.0174	1.0114
Genetic Algorithm による偏差			→	0.0068			0.0019			0.0017
Quasi-Newton 法による偏差			→	0.0080			0.0025			0.0021

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 10 Approximated Taylor distribution with all identical subarrays (Subarray having 5 antenna elements)

アレーを用いた場合の結果である、1種類の波源値分布にしたものと比較すると、テーラ分布の値との偏差が0.0019と約1/4にまで向上した。さらに遠方界指向性もサイドロープの影響がかなり減り、なだらかな包絡線を描いている。

Fig. 12 は、3種類の波源値分布[1,4], [2,3], [5,6,7]のサブアレーを用いた場合の計算結果である。テーラ分布の値との偏差は、0.0017と小さくなっており、遠方界指向性もテーラ分布の遠方界指向性と、ほぼ一致している。組合せを考えると、[1,2,3], [4,5], [6,7]などのように順番にした方がよいように推測されるが、実際には良好な結果が得られなかった。これは、各サブアレーの波源値の変動幅(たとえば、 $A_5 - A_1$, $A_{10} - A_6$ などの)の大きい順に各サブアレーを並べると(2,3,4,1,5,6,7)となり変動幅の度合いによって3グループに分け[2,3], [4,1], [5,6,7]の組合せの時に偏差が小さくなるためである。

サブアレー内のアンテナ素子を5本で構成すると、テーラ

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 11 Approximated Taylor distribution with 2 groups of identical subarrays (Subarray having 5 antenna elements)

分布の波源を給電するアンテナ素子(サブアレーの中心に位置するアンテナ素子)の数が、7本で構成した場合より多くなるので、遠方界指向性はよりなだらかな包絡線を描くようになる。全体的に見るとテーラ分布の理想的な遠方界指向性に近い結果になっており、さらに3種類の波源値分布にした場合では、低サイドロープの遠方界指向性となっている。

4.3 サブアレーをアンテナ素子3本で構成する場合

サブアレーを構成するアンテナ素子の数を3本に変更し、そのサブアレーを12個にしたものをアレーアンテナとして用いる。サブアレーのアンテナ素子の数が7本と5本の場合では、メインアレーの全アンテナ素子数が35本であったが、アンテナ素子の数を3本に変更した場合では、便宜上メインアレーの全アンテナ素子数を36本とする。

サブアレーを1種類の波源値分布を用いてテーラ分布に近似した場合の結果が **Fig. 13** である。テーラ分布の値との偏

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 12 Approximated Taylor distribution with 3 groups of identical subarrays (Subarray having 5 antenna elements)

差は0.0023と小さくなっているが、 $\pm 40^\circ$ の付近からグレーティングローブが生じている。各サイドローブのピークは、なだらかな包絡線を描いているが $\pm 40^\circ$ の付近のサイドローブだけ少し突出しており、これがグレーティングローブである。グレーティングローブは、アレーアンテナの各アンテナ素子から放射される電波の時間遅れ(位相遅れ)の合成により、他のサイドローブより比較的大きくなるサイドローブのことである。また、光の領域の回折格子(Grating)によって生じる周期的な強い放射に対応することよりグレーティングローブと呼ばれている。

Fig. 14は、2種類の波源値分布[1,2,3,4,5,6,7,8,9], [10,11,12]のサブアレーを用いた場合のグラフである。テーラ分布の値との偏差は0.0010と小さくなっているが、1種類の波源値分布にした場合と同じ $\pm 40^\circ$ の付近からグレーティングローブが生じている。

Fig. 15は、3種類の波源値分布[1,2,3], [4,5,6,7,8],

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 13 Approximated Taylor distribution with all identical subarrays (Subarray having 3 antenna elements)

[9,10,11,12]のサブアレーを用いた場合の計算結果である。テーラ分布の値との偏差も0.0006と、これまでの中で一番小さくなっており、遠方界指向性もテーラ分布の遠方界指向性と、ほぼ一致している。

サブアレー内のアンテナ素子を3本で構成すると、テーラ分布の値を用いるアンテナ素子の数が、さらに多くなるので、テーラ分布の遠方界指向性のような包絡線を描いている。 $\pm 40^\circ$ の付近から生じているサイドローブだけを無視すると、1種類の波源分布にした場合でも設計が簡略化されたといえる。

5. む す び

アンテナ素子を不等間隔配置し、給電波源制御を行った場合、サブアレーに供給する波源値分布の種類を多く用いることによりテーラ分布の波源分布との偏差が小さくなり、それによっても遠方界指向性もなだらかな包絡線を描くように

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 14 Approximated Taylor distribution with 2 groups of identical subarrays (Subarray having 3 antenna elements)

なった。テーラ分布との偏差が小さくても、テーラ分布の遠方界指向性より大きいサイドローブが現れるのは、一部の素子間隔が近づき過ぎたり、極端に離れ過ぎたりしているためである。それ以外の要因としてはGAで求めた波源分布において、隣接する素子に給電する波源の変動幅が大きいところがあるためである。そして、アンテナ素子を3本にした場合よりも、アンテナ素子を5本にし3種類の波源値分布にした場合の方が遠方界指向性でグレーティングローブの発生が見られないので良い結果が得られている。また、アンテナ素子の数を減らし、サブアレーの数を増やしていくことにより、テーラ分布との偏差が小さくなった。これは、サブアレー数を増やすことにより、給電波源にテーラ分布の値を用いるサブアレー内の中央のアンテナ素子の数が全体で多くなることに起因している。

サブアレーを5本のアンテナ素子で1種類の波源値分布で

(a) Current distribution

(b) Far field pattern

Fig. 15 Approximated Taylor distribution with 3 groups of identical subarrays (Subarray having 3 antenna elements)

テーラ分布を近似した場合、第1サイドローブレベルが設計値の-30 dBをほぼ満足しており、多少のサイドローブレベルを考慮しなければ、ウェイトは7種類、波源値は5種類、合計12種類で、35本のアンテナ素子個別に35種類の波源を給電する場合と比べ約1/3になる。

アレーアンテナの給電方法の簡略化において、サブアレーのアンテナ素子間隔をGAによって1分程度で求めることによって、Quasi-Newton法に比べ短時間で波源分布をテーラ分布に近づけることができ、それによってアンテナの給電方法の簡略化を図られることが明らかになった。

さらに、アレーアンテナの構成にかかるコスト、保守および検査の軽減も図られることが容易に予想される。

参 考 文 献

- 1) 安達, 佐藤: 電波工学, 森北出版, 89/97 (1998)
- 2) 電子通信学会 (編): アンテナ工学ハンドブック, オーム社 (1980)
- 3) R. J. Mailloux: Array Grating Lobes due to Periodic Phase, Amplitude, and Time Delay Quantization, IEEE AP-S Trans. **32**-12, 1364/1368 (Dec 1984)
- 4) J. H. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press (1975)
- 5) D. E. Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley (1989)
- 6) T. T. Taylor: Design of Line-Source Antenna for Narrow Beam Width and Side Lobes, IRE Trans. Antennas & Propag., **AP-3**-1, 16/28 (Jan. 1955)
- 7) R. L. Haupt: Reducing Grating Lobes Due to Subarray Amplitude Tapering, IEEE Trans. Antennas & Propag., **AP-33**-8, 846/850 (Aug. 1985)
- 8) 日本機械学会: 工学問題を解決する適応化・知能化・最適化法, 技報堂出版, 124/131 (1996)
- 9) 坂和, 田中: 遺伝的アルゴリズム, 日本ファジィ学会, 朝倉書店 (1995)

- 10) D. F. Shanno: Conditioning of Quasi-Newton Methods for Function Minimization, Mathematics of Computing, **24**, 647/656 (1970)

[著 者 紹 介]

大久保

茂 (正会員)

1985年慶應義塾大学大学院工学研究科博士課程修了。同年郵政省電波研究所入所。89年福井高専講師, 90年同助教授, 現在に至る。アンテナおよび近傍界測定法の研究に従事。工学博士。