ポアンカレ球と遺伝的アルゴリズムを用いた 受信アンテナ偏波の最適化

Receive Antenna Polarization Optimization Using Genetic Algorithm And Poincaré Sphere

正会員 大久保 茂[†]
Shigeru Okubo[†]

Abstract The receiving antenna polarization that maximizes SINR (Signal to Interference and Noise Ratio) was determined in the presence of varying arbitrarily polarized interferences and thermal noise using the genetic algorithm (GA) and Poincaré sphere representation of the polarization state. SINR is maximized by controlling a receiving antenna polarization that is mismatched to both the desired signal and interference polarizations so that a balance between the interference and the signal is obtained. The optimal receiving antenna polarization in the presence of varying interference and thermal noise was calculated using the GA. The relationship between the desired signal, the interference, and the optimal receiving antenna polarizations is shown. These results provide insight into applying polarization theory to improving signal reception in the presence of interference and thermal noise.

キーワード：アンテナ偏波，ポアンカレ球，遺伝的アルゴリズム

1. ま え が き

近年の電気通信技術の発展にともない，高度情報化が進み様々な情報通信メディアが登場し普及してきている．なかでも即時性と機動性に優れた移動体通信は最も注目されている情報通信メディアの1つである．具体的には携帯電話が1996年の900万台から1997年の1,900万台まで1年間で倍増以上となり，さらに現在では6,000万台を超え2人に1人が使用し，ごく日常的に移動体通信を利用する時代となった．数多くの情報機器やその他電子機器より発生する，妨害電磁波による電子スモッグが社会的問題になってきている．無線通信において妨害を与える雑音には，通信システム内部から発生する内部雑音と，外部から混入する外部雑音がある．内部雑音には，抵抗体の熱擾乱による熱雑音，半導体素子などの電子素子から発生する電子素子雑音，多重伝送における準漏話雑音やPCMの量子化雑音によって発生するシステム雑音などがあり，一方，外部雑音には雷などの自然雑音，電気機器などの人工物などによる人工雑音，他のシステムからの誘導や放射による干渉雑音などがある．高品質の通信回線を確保するには，これらの雑音を抑え，かつ信号波を効率よく受信することが必要不可欠である．そのため，空間，偏波，周波数，時間ダイバーシチ技術などや受信アンテナの指向性に関しては，サイドローブの低

減化および妨害波の到来方向にヌルを構成するなどの対策が講じられている^{1)~3)}．

また，移動体通信には幅広い周波数の電波が利用されているが，移動体通信ニーズの急増にともない利用できる電波が不足している⁴⁾．とりわけ通信の品質向上を図ることは重要な問題の1つであり，その問題の改善を図る一方法として偏波制御がある．偏波制御を行う場合，解析するパラメータが多くなる．そこでパラメータを符号化した遺伝子の制御によって最適な解を効率よく求める遺伝的アルゴリズム⁵⁾ (Genetic Algorithm, 以下GA) という手法が有望である．

本論文では，偏波の状態をわかりやすくとらえるため，偏波状態を球面上の1点で表すポアンカレ球表示法を用いる．ポアンカレ球表面上に信号波，妨害波が任意の点に存在する場合，アンテナ偏波の受信品質を定量的に評価する量として熱雑音をも考慮したSignal-to-Interference-plus Noise power Ratio (以下SINRとする) を定義する．ただし，熱雑音は通信機器から発生する内部雑音であり偏波成分を持たないとする．さらにSINRに関して理論式を導出し，GAを用いてSINRを評価し受信アンテナ偏波の最適化をおこない解析的結果とGAによる結果を比較して，SINRを求める場合におけるGAの有効性を示している．

2. ポアンカレ球表示法⁶⁾

電磁波の偏波状態を表す方法の1つとして，視覚にうったえた図解表示法が考えられている．その代表的なものとしてポアンカレ球表示法 (Poincaré Sphere) があり，偏波状

2000年7月26日受付，2001年10月29日最終受付，2001年12月20日採録
† 福井工業高等専門学校

(〒916-8507 福井県鯖江市下司町，TEL 0778-62-1111)

† Fukui National College of Technology

(Geshi-cho, Sabae-shi, Fukui 916-8507, Japan)

態をわかりやすくとらえることができる。図1はXY座標系による楕円偏波Mを示したものであり、図2はその楕円偏波Mをポアンカレ球表示したものである。表示法の特徴としては次のようなものが挙げられる。

- (1) 半径1の球を地球と考える。
- (2) 地球上の1点Mは経度 2β と緯度 2α で表す。
- (3) だ円偏波Mの軸の傾き角 β は、Hを基点とするMの経度 2β で表される。
- (4) 楕円偏波の短軸方向の電界成分に対する長軸方向の電界成分の比、すなわち楕円偏波率とMの緯度 2α との間には次式の関係がある。

$$e_p = \cot \alpha \quad (1)$$

- (5) 点Hは水平偏波を点Vは垂直偏波を示す。
- (6) 円偏波は北極および南極で表され偏波の旋回方向は、北半球の偏波旋回方向を左旋とすると南半球の旋回方向は右旋となる。
- (7) 電界ベクトルの水平成分と垂直成分の位相差は、球面上の角度 ϕ で表される。
- (8) 電界ベクトルの水平成分と垂直成分の振幅比 $\tan \gamma$ は大円の長さ 2γ から求められる。
- (9) ポアンカレ球面上の対称点にある2つの偏波は、長軸が互いに直交し、楕円偏波率が等しく、旋回方向が逆である。

3. SINR式の導出

SINRは偏波成分を持つ信号波S、妨害波Iおよび偏波成分を持たない熱雑音Nとの比で表される量として定義する。これを数式化すると次式のようにになる。

$$\text{SINR} = \frac{S}{I+N} \quad (2)$$

ここで、ポアンカレ球上における信号波Sと妨害波Iを次のように定義する。

$$S = P_s m_p(A, S) \quad (3)$$

$$I = P_i m_p(A, I) \quad (4)$$

P_s : 信号波の持つエネルギー

P_i : 妨害波の持つエネルギー

$m_p(,)$: 偏波不整合損(,)内は相互間の角度

A: アンテナ偏波

図3は図2の点Mと点Aを含むポアンカレ球の断面図である。ある偏波を持つアンテナ偏波AがMの偏波を受信できる量は次式で与えられ、偏波不整合損 η という。 θ は偏波Mとアンテナ偏波A間の角度を示す。

$$m_p = \cos^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (5)$$

ここで、熱雑音は偏波成分を持たないので式(3)、(4)より式(2)は次式で与えられる。

図1. X-Y座標での偏波M
Polarization ellipse M on X-Y coordinate.

図2 ポアンカレ球での偏波M
Polarization ellipse M on Poincaré sphere.

図3 偏波損失
Polarization mismatch loss.

$$\text{SINR} = \frac{P_s m_p(A, S)}{P_i m_p(A, I) + N} \quad (6)$$

式(6)の分母分子を P_s で割ると

$$\text{SINR} = \frac{m_p(A, S)}{\frac{P_i}{P_s} m_p(A, I) + \frac{N}{P_s}} \quad (7)$$

となる。ここで、

$$SIR = \frac{P_s}{P_i} \quad (8)$$

(SIR：信号波と妨害波の比)

$$SNR = \frac{P_s}{N} \quad (9)$$

(SNR：信号波と雑音の比)

とすれば式(7)は、

$$SINR = \frac{m_p(A, S)}{\frac{m_p(A, I)}{SIR} + \frac{1}{SNR}} \quad (10)$$

さらに、

$$INR = \frac{SNR}{SIR} \quad (11)$$

(INR：妨害波と雑音の比)

とすれば、式(10)は、

$$SINR = SNR \frac{m_p(A, S)}{INR m_p(A, I) + 1} \quad (12)$$

と表すことができる。また式(12)に、偏波不整合損の式を用いると次式となる。

$$SINR = SNR \frac{\cos^2\left(\frac{\theta_s}{2}\right)}{INR \cos^2\left(\frac{\theta_i}{2}\right) + 1} \quad (13)$$

ただし、 θ_s ：信号波－アンテナ偏波間角度

θ_i ：妨害波－アンテナ偏波間角度

式(13)を用いて受信アンテナ偏波の最適化を行う。このとき定義したSINRの値が大きいほどアンテナ偏波の受信状態がよく、SINRが最大になる偏波状態を最適受信アンテナ偏波とする。

4. 遺伝的アルゴリズム

最適受信アンテナ偏波を求める場合、種々のパラメータを変化させるため膨大な計算ステップが必要である。そこで短時間で受信アンテナ偏波の最適化を行うためGAを用いる。本論文ではGAのパラメータを以下のように設定した。

- (1) 受信アンテナ偏波の座標を遺伝子とし、1つを13ビットで表す。13ビットとしたのはその座標を少数第1位までとるためである。1行の13ビット (2^{12}) を10進数化し4桁の数を作り、($2^{12}/10$) より0から360と少数第1位までの任意の数値を作成し受信アンテナ偏波の座標とする。
- (2) 個体群の大きさは遺伝子8個で構成する。
- (3) 各遺伝子に対する評価関数はSINRとする。
- (4) 各遺伝子の評価関数の大きい順に並べる。
- (5) 下位4個の遺伝子を劣性遺伝子と判断して淘汰する。
- (6) 上位4個の遺伝子を優性遺伝子とし、それらを交叉して新たな4個の遺伝子を作り出し、個体群を再構築する。
- (7) 突然変異の発生率は1.0%程度に設定する。
- (8) 同様に各遺伝子に対して評価関数を計算し、遺伝子

の淘汰・交叉および突然変異を繰り返す。

(9) 終了判定の条件はループの回数 (50回) とする。

5. 受信アンテナ偏波の最適化

信号波S、妨害波Iの偏波状態をポアンカレ球上に任意に設定し、式(13)のSINRが最大となる最適受信アンテナ偏波Aを求める。それで、それぞれGAおよびシミュレーテッドアニーリング⁸⁾ (Simulated Annealing：以後SA)を用いて最適受信アンテナ偏波を求め、式(13)等の理論式中の θ_s を逐次変化させて求めた最適受信アンテナ偏波と比較する。ただし、SINRの計算時においてSNRは正規化しSNR=1とし、SAの受理確率は $P(\Delta) = \exp(-\Delta/T)$ 、 Δ は評価関数の変化量、パラメータTの減少率は0.8、各状態での反復回数は6回として以後計算する。

5.1 各偏波がポアンカレ球同一平面上に存在する場合

まず最も簡単な場合としてS、I、Aの各偏波状態がポアンカレ球上の同一平面上に存在する場合 (ポアンカレ球断面の円周上にS、I、Aすべて存在する場合) を考える。

5.1.1 妨害波が1個存在する場合

信号波を基準点に置き、受信アンテナ偏波、妨害波の座標はそこから反時計回りの方向を+、その逆の方向を-で表すものとする。ここで、各点の座標は信号波を中心とした -180° から 180° の範囲で表す。図4に示すように、妨害波の角度と強さを任意に決め、式(13)よりSINRが最大となる値と受信アンテナ偏波の角度を求め、最適受信アンテナ偏波と比較する。

妨害波の座標を $\theta_{is} = \theta_i - \theta_s = 60^\circ$ 、強さINR=10 dBとし、それぞれGAおよびSAにより、SINRの計算結果と式(13)中の θ_s を 0.1° 間隔で逐次変化させて求めたSINRの最大値と比較する。図5はその結果を示したもので、横軸は計算回数、縦軸はSINRである。図中の点線は式(13)より求めた最大のSINRを、実線はGAおよびSAにより計算した結果を示している (以下同様)。式(13)を逐次計算した場合の計算時間

図4 ポアンカレ球での偏波位置 (S, I, A)
Polarization state on Poincaré sphere (S, I, A).

図5 SINRと計算回数 (I_1 : 10dB, θ_{is} : 60°)
SINR - number of generations (I_1 : 10dB, θ_{is} : 60°).

表1 最適受信アンテナ偏波とSINRmaxの計算結果
(ポアンカレ球断面に信号波と1個の妨害波が存在する場合)
Calculated results of optimal receiving antenna polarization and SINRmax
(A signal and an interference on plane cut of Poincaré sphere).

信号波		妨害波		計算結果	
座標	強さ	座標	強さ	受信アンテナ 偏波の座標	SINR _{max}
0°	0 dB	$\theta_{is}=60^\circ$	INR=10 dB	理論値 $\theta_S = -102.2^\circ$	-4.973dB
				GA法 $\theta_S = -100.8^\circ$	-4.977dB

は1.22秒で最大のSINR値は-4.973 dB, 受信アンテナ偏波の座標は -102.2° であった. 表1に示すように, GAの計算値は-4.977 dB, その座標は -100.8° , 座標の偏差は 1.4° , SINRの偏差は0.004 dBでSINRの値は最大値の99.92%である. また, GAでは計算回数約20回, 計算時間0.25秒, 一方SAではそれぞれ約250回, 0.88秒でSINRが変化しなくなった. さらにGAでは, 式(13)を解析的に計算した場合に比べ, 約1/5の計算時間でほぼ同じ結果を得た.

妨害波が1個で 60° に存在する場合, 受信アンテナ偏波は直交偏波の位置である妨害波から 180° 離れた -120° でその影響を受けないが, 信号波を受信するために -120° から信号波の方へ少しずれた -102.2° となっている.

5.1.2 妨害波が複数存在する場合

次に妨害波が複数存在する場合を考える. 式(13)は妨害波が1個の場合を考えたときの式であるが, 一般に妨害波は複数個存在すると考えられるので, 式(13)を一般化すると式(14)となる.

$$SINR = SNR \frac{\cos^2\left(\frac{\theta_s}{2}\right)}{\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ INR_n \cos^2\left(\frac{\theta_{in}}{2}\right) \right\} + 1} \quad (14)$$

ただし, n : 妨害波の数

図6に示すように, 信号を基準に置き妨害波を2個設定する. このとき, GAにより式(14)のSINRを最大にする受信

図6 ポアンカレ球での偏波位置 (S, I1, I2, A)
Polarization state on Poincaré sphere (S, I1, I2, A).

図7 SINRと計算回数 (I_1 : 10dB θ_{is1} : 60° , I_2 : 10dB θ_{is2} : -60°)
SINR - number of generations (I_1 : 10dB θ_{is1} : 60° , I_2 : 10dB θ_{is2} : -60°).

表2 最適受信アンテナ偏波とSINRmaxの計算結果
(ポアンカレ球断面に信号波と2個の妨害波が存在する場合)
Calculated results of optimal receiving antenna polarization and SINRmax
(A signal and two interferences on plane cut of Poincaré sphere).

信号波		妨害波		計算結果	
座標	強さ	座標	強さ	受信アンテナ 偏波の座標	SINR _{max}
0°	0 dB	$\theta_{is1}=60^\circ$	INR1=10 dB	理論値 $\theta_S = 0.0^\circ$	-12.041dB
		$\theta_{is2}=-60^\circ$	INR2=10 dB	GA法 $\theta_S = 0.5^\circ$	-12.041dB

アンテナ偏波の座標を求める.

妨害波1の座標を $\theta_{is1} = \theta_{i1} - \theta_s = 60^\circ$, 強さINR1=10 dBとし, 妨害波2の座標を $\theta_{is2} = \theta_{i2} - \theta_s = -60^\circ$, 強さINR2=10 dBとする. そして, GAとSAによる計算結果と式(14)中の θ_s を 0.1° 間隔で逐次変化させて求めたSINRの最大値を比較する. 図7はその結果を示したもので, 式(14)により計算時間は1.44秒, 最大SINR値は-12.041 dB, 受信アンテナ偏波の座標は 0° を得た. 表2に示すようにGAより求めたSINRの値は-12.041 dB, その座標は -0.5° であった. 座標の偏差は 0.5° であるが, SINRは最大値と等しい値となった. また, GAでは計算回数約10回, 計算時間0.12

秒，一方，SAではそれぞれ約300回，1.06秒でSINRが変化しなくなった．さらにGAでは，式(14)を解析的に計算した場合に比べ，約1/12の計算時間でほぼ同じ結果を得た．

受信アンテナの偏波を制御して，効率よく信号波を受信する条件としては，ポアンカレ球の同一平面上において妨害波からより遠く，かつ信号波により近い所に受信アンテナ偏波を置かなければならない．この場合ポアンカレ球同一平面上の同じ強さの妨害波1(60°)と妨害波2(-60°)の中央に信号波(0°)が位置しているため，理論値として信号波と同じ0°に受信アンテナ偏波を置く結果となった．これは，信号波は偏波不整合損なしに受信でき，かつ同じ強さの妨害波1および妨害波2は等距離(角度)にあるので両妨害波は同じ偏波不整合損を生じ，減衰した妨害波として受信されるため，受信アンテナ偏波の位置が0°でSINRが最大になると考えられる．

5.2 各偏波が任意のポアンカレ球表面に存在する場合

5.2.1 妨害波が1個存在する場合

次にS, I, Aの各偏波状態がすべてポアンカレ球表面上の任意の点に存在する場合を考える．図8は一般的な配置図を示したものである．この場合の θ_s , θ_i は球面上の角度なので，球面三角形の公式より球面角を導出する．図9のようなベクトル $\vec{A}$ の単位ベクトル $\hat{e}_A$ を，XY平面上での単位ベクトルを $\hat{e}_{\lambda A}$ ，X, Y, Z軸の単位ベクトルをそれぞれ $\hat{e}_X$, $\hat{e}_Y$, $\hat{e}_Z$ とすると，ベクトル $\vec{A}$ は次のようになる．

$$\vec{A} = r\hat{e}_A \quad (15)$$

また $\hat{e}_A$, $\hat{e}_{\lambda A}$ は，

$$\hat{e}_A = \cos\phi_A \hat{e}_{\lambda A} + \sin\phi_A \hat{e}_Z \quad (16)$$

$$\hat{e}_{\lambda A} = \cos\lambda_A \hat{e}_Y + \sin\lambda_A \hat{e}_X \quad (17)$$

となるので，

$$\begin{aligned} \hat{e}_A &= \cos\phi_A \sin\lambda_A \hat{e}_X + \cos\phi_A \cos\lambda_A \hat{e}_Y + \sin\phi_A \hat{e}_Z \\ &= (\cos\phi_A \sin\lambda_A, \cos\phi_A \cos\lambda_A, \sin\phi_A) \end{aligned} \quad (18)$$

同様にベクトルを考えると，

$$\hat{e}_B = (\cos\phi_B \sin\lambda_B, \cos\phi_B \cos\lambda_B, \sin\phi_B) \quad (19)$$

ここで2つのベクトルの内積を考えると，

$$\hat{e}_A \cdot \hat{e}_B = |\hat{e}_A| \cdot |\hat{e}_B| \cdot \cos\theta \quad (20)$$

式(18), (19), (20)より，

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \cos\phi_A \cos\phi_B \sin\lambda_A \sin\lambda_B \\ &\quad + \cos\phi_A \cos\phi_B \cos\lambda_A \cos\lambda_B + \sin\phi_A \sin\phi_B \\ &= \cos\phi_A \cos\phi_B (\sin\lambda_A \sin\lambda_B + \cos\lambda_A \cos\lambda_B) \\ &\quad + \sin\phi_A \sin\phi_B \end{aligned} \quad (21)$$

となる．さらに，

$$\cos\theta = \sin\phi_A \sin\phi_B + \cos\phi_A \cos\phi_B \cos\lambda \quad (22)$$

図8 ポアンカレ球での偏波位置(S, I, A)
Polarization state on Poincaré sphere (S, I, A).

図9 座標系
Coordinate.

ただし， $\lambda = \lambda_A - \lambda_B$

式(22)を用いて球面上の角度を表すと次式となる．

$$\theta_s = \cos^{-1}(\sin S_y \sin A_y + \cos S_y \cos A_y \cos \alpha) \quad (23)$$

$$\theta_i = \cos^{-1}(\sin I_y \sin A_y + \cos I_y \cos A_y \cos \beta) \quad (24)$$

A_x, S_x, I_x : それぞれの経度

A_y, S_y, I_y : それぞれの緯度

$\alpha = |A_x - S_x|$, $\beta = |A_x - I_x|$

式(23), (24)と式(14)より，ポアンカレ球表面上にS, Iの偏波状態を任意に設定したときの受信アンテナ偏波を求め，式(14)より求めた最適受信アンテナ偏波と比較する．この場合球面上にアンテナ偏波の座標が存在するので，遺伝子1つの大きさを26ビットとして，その半分の13ビットを経度，残りの13ビットを緯度とし受信アンテナ偏波の座標を表す．信号波の座標を[45°, 45°]に置き，妨害波の座標を[-60°, -60°]，その強さINR=10 dBとする．ここで，ポアンカレ球表面上の座標は[,]内に経度，緯度の順に示す．

図10はポアンカレ球上における $SINR$ の結果を等高線により表したものである。最適受信アンテナ偏波を求めるためには、球面上のすべての点において $SINR$ を計算して最大値を求めるので膨大な計算ステップが必要となるため、それぞれGAとSAを用いて $SINR$ の計算を行いその計算結果と式(14)により求めた $SINR$ の最大値とを比較する。

図11はその結果を示したもので最大の $SINR$ は -0.628dB ,

図10 $SINR$ の等高線 [$S: (45^\circ, 45^\circ)$, $I1: 10\text{dB} (-60^\circ, -60^\circ)$]
Contour line of $SINR$ [$S: (45^\circ, 45^\circ)$, $I1: 10\text{dB} (-60^\circ, -60^\circ)$].

図11 $SINR$ と計算回数 [$S: (45^\circ, 45^\circ)$, $I1: 10\text{dB} (-60^\circ, -60^\circ)$]
 $SINR$ - number of generations [$S: (45^\circ, 45^\circ)$, $I1: 10\text{dB} (-60^\circ, -60^\circ)$].

表3 最適受信アンテナ偏波と $SINR_{\text{max}}$ の計算結果
(ポアンカレ球上に信号波と1個の妨害波が存在する場合)
Calculated results of optimal receiving antenna polarization and $SINR_{\text{max}}$
(A signal and an interference on Poincaré sphere).

信号波		妨害波		計算結果	
座標	強さ	座標	強さ	受信アンテナ 偏波の座標	$SINR_{\text{max}}$
$(45^\circ, 45^\circ)$	0 dB	$(-60^\circ, -60^\circ)$	$INR=10\text{dB}$	理論値 (111.6°, 61.2°)	-0.628dB
				GA法 (111.4°, 61.2°)	-0.628dB

受信アンテナ偏波の座標は $[111.6^\circ, 61.2^\circ]$ 、計算時間は95秒であった。表3に示すようにGAより算出された $SINR$ の値は -0.628dB 、その座標は $[111.4^\circ, 61.2^\circ]$ で、座標の偏差は経度 0.2° 、緯度 0° となったが $SINR$ は最大値と等しくなった。また、GAでは計算回数約20回、計算時間0.42秒、一方SAではそれぞれ約450回、1.62秒で $SINR$ が変化しなくなった。さらにGAでは、式(14)を解析的に計算した場合に比べ、約1/225の計算時間でほぼ同じ結果を得た。

妨害波が1個の場合、アンテナ偏波の座標は妨害波と対称な点 $[120^\circ, 60^\circ]$ でその影響を受けないが、それに近い $[111.4^\circ, 61.2^\circ]$ の座標になっている。

5.2.2 妨害波が複数存在する場合

図12は妨害波の数を2個に設定した場合を示している。信号波の座標を $S = [45^\circ, 45^\circ]$ に置き、妨害波1の座標を $[-60^\circ, -60^\circ]$ 、強さ $INR1=10\text{dB}$ とし、妨害波2の座標

図12 ポアンカレ球での偏波位置 ($S, I1, I2, A$)
Polarization state on Poincaré sphere ($S, I1, I2, A$).

図13 $SINR$ と計算回数 [$S: (45^\circ, 45^\circ)$, $I1: 10\text{dB} (-60^\circ, -60^\circ)$,
 $I2: 10\text{dB} (150^\circ, 60^\circ)$]
 $SINR$ - number of generations [$S: (45^\circ, 45^\circ)$,
 $I1: 10\text{dB} (-60^\circ, -60^\circ)$, $I2: 10\text{dB} (150^\circ, 60^\circ)$].

表4 最適受信アンテナ偏波とSINRmaxの計算結果

(ポアンカレ球上に信号波と2個の妨害波が存在する場合)

Calculated results of optimal receiving antenna polarization and SINRmax

(A signal and two interferences on Poincaré sphere).

信号波		妨害波		計算結果		
座標	強さ	座標	強さ		受信アンテナ 偏波の座標	SINR _{max}
(45°, 45°)	0 dB	(-60°, -60°)	INR1=10 dB	理論値	(45.0°, 36.0°)	-10.006 dB
		(150°, 60°)	INR2=10 dB	GA法	(43.9°, 40.9°)	-10.015 dB

を[150°, 60°], その強さINR2=10 dBとする. GAおよびSAによりSINRを求め計算しておいた最大値と比較する.

図13は, 式(14)を用いて式(23), (24)の受信アンテナ偏波の経度および緯度を0.1° 間隔で逐次変化させて求めた最大SINRの値は-10.006 dB, 受信アンテナ偏波の座標は[45.0°, 36.0°], 計算時間は98秒であった. 表4に示すように, GAより計算されたSINRの値は-10.015 dB, その座標は[43.9°, 40.9°]でその偏差は経度1.1°, 緯度4.9°, SINRの偏差は0.009 dBとなった. SINRの値は最大値の99.91%である. また, GAでは計算回数約25回, 計算時間0.45秒, 一方SAではそれぞれ約300回, 1.06秒でSINRが変化しなくなった. さらにGAでは, 式(14)を解析的に計算した場合に比べ, 約1/220の計算時間でほぼ同じ結果を得た.

最適受信アンテナ偏波の座標は理論値として(45°, 36°)を得た. この結果について, 経度と緯度の2つに分けて考える. まず, 経度については, 妨害波1の経度は-60°, 妨害波2の経度は150°, 信号波の経度は45° となっている. 妨害波1と妨害波2の経度の中央は45° である. また, 信号波の経度も45° なのでポアンカレ球同一平面上に妨害波が2つ存在する場合と同様, 両妨害波の経度の中央に信号波の経度が存在するので, 上述したとおり最適受信アンテナ偏波の経度の座標は, 信号波の経度の座標と同じになったと考えられる. つぎに緯度については妨害波1の緯度は-60°, 妨害波2の緯度は60°, 信号波の緯度は45° である. 妨害波1と妨害波2の緯度の中央は0° である. この0° に受信アンテナ偏波の座標があると両妨害波に同じ偏波不整合損が生じ, 減衰した妨害波として受信される. また, 45° では信号波を偏波不整合損なしで受信できることになる. 受信アンテナの偏波を制御して, 効率よく信号波を受信する条件としては, ポアンカレ球上において妨害波からより遠く, かつ信号波により近い所に受信アンテナ偏波を置けばよいことより, 受信アンテナ偏波の緯度座標は0° と45° の間に存在することが容易に予想される. 式(14)のSINRにおいて, 信号波および各妨害波の偏波不整合損の

度合いによって予想したとおり理論値の受信アンテナ偏波の緯度座標は36° が得られたと考えられる.

また, どの場合もGAはSAよりも短時間でほぼ同じ結果が得られた.

6. む す び

偏波状態をポアンカレ球表示し, 妨害波と熱雑音が存在する場合の受信アンテナ偏波の受信品質を定量的に評価するSINRを導入し, あらゆる偏波状態にも対応できる理論式を導出した. そしてSINRを求める場合に効率的計算を図るためGAを用いて計算し, 理論式より求めた結果と比較して, 受信アンテナ偏波の最適化がGAを利用して可能であることを明らかにした.

もし妨害波がない場合, ポアンカレ球上で信号波と受信アンテナ偏波の座標が等しいときSINRが最大になるが, 妨害波が加わることで信号波と受信アンテナ偏波の座標が等しくない偏波状態でSINRの値が最大となる. 最適受信アンテナ偏波を求めるには, 妨害波の強さを考えその影響をできるだけ受けず, かつ信号の偏波状態に近くなるように受信アンテナ偏波を設定する必要がある. GAによる計算では, すべての場合において20~30回程度の計算回数で最大値とほとんど等しい値となる. これにより, 受信アンテナ偏波の最適化を行う際はGAが有効であり, GAを用いれば瞬時に最適受信アンテナ偏波が求められるので, 本方法が無線通信における通信品質の向上の一助になれば幸いである.

〔文 献〕

- 1) D. P. Stapor: "Optimal Receive Antenna Polarization in the Presence of Interference and Noise", IEEE Trans. Antennas & Propag., 43, 5, pp.473-477 (May 1995)
- 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) 後藤尚久: "アンテナの科学", 講談社 (1990)
- 4) 通信総合研究所編: "情報通信研究の最前線", 電波新聞社, (1999)
- 5) 坂和正敏, 田中雅博: "遺伝的アルゴリズム", 朝倉書店 (1995)
- 6) Poincaré, H.: "Theorie Mathématique de la Lumière", G. Carre, Paris (1892)
- 7) W. L. Stutzman: "Polarization in Electromagnetic Systems", Artech House (1993)
- 8) Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. Jr and Vecchi, M. P.: "Optimization by Simulated Annealing", Science, 220, pp.671-680 (1983)

おおくわ しげる
大久保 茂 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. 1989年, 福井工業高等専門学校専任講師. 2002年, 同高専教授となり, 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. 正会員.