(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2006 年10 月12 日 (12.10.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/107025 A1

(51) 国際特許分類:
G06N 3/00 (2006.01) *G06F 17/50* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/307053

(22) 国際出願日: 2006 年4 月3 日 (03.04.2006)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2005-108065 2005 年4 月4 日 (04.04.2005) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社進化システム総合研究所 (EVOLVABLE SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE,INC.) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区浜松町二丁目１番１３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 村川 正宏 (MURAKAWA, Masahiro) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区浜松町二丁目１番１３号 株式会社進化システム総合研究所内 Tokyo (JP). 伊藤 桂一 (ITO, Keiichi) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区浜松町二丁目１番１３号 株式会社進化システム総合研究所内 Tokyo (JP). 馬場 俊祐 (BABA, Shunsuke) [JP/JP]; 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１株式会社半導体先端テクノロジーズ内 Ibaraki (JP).

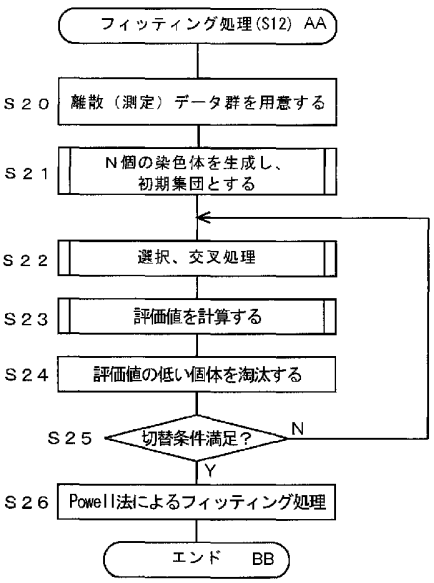
(74) 代理人: 久保田 直樹，外(KUBOTA, Naoki et al.); 〒1950062 東京都町田市大蔵町３１０１－１０久保田特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: PARAMETER ADJUSTER

(54) 発明の名称: パラメータ調整装置



AA... FITTING (S12)
S20... PREPARE DISCRETE (MEASURED) DATA GROUP
S21... GENERATE N CHROMOSOMES TO USE THEM AS INITIAL GROUP
S22... SELECTING AND CROSSING
S23... COMPUTE EVALUATION VALUE
S24... DISCARD INDIVIDUALS HAVING LOW EVALUATION VALUES
S25... SWITCHING CONDITION SATISFIED?
S26... FITTING BY POWELL METHOD
BB... END

(57) **Abstract:** Parameters are efficiently and accurately adjusted by applying a genetic algorithm to parameter adjustment of, e.g., a transistor physical model. A parameter adjuster comprises means for generating an initial group by the Latin hypercube sampling, means for generating a new parameter gene by special crossing, and normalizing means for using the parameter adjuster also for a real number parameter. Further, the parameter adjuster comprises evaluating means for evaluating a parameter in consideration of the log scale so as to match, e.g., the characteristics inherent to a transistor (MOSFET). With this constitution, a genetic algorithm can be used for adjusting a large number of parameters of, e.g., the physical model of a transistor, and a parameter group can be determined in a short time with high accuracy.

(57) 要約: 遺伝的アルゴリズムをトランジスタの物理モデル等のパラメータ調整に適用して効率および精度のよいパラメータの調整を行う。 パラメータ調整装置はラテン超方格法による初期集団発生手段および特殊な交叉処理によって新たなパラメータ遺伝子を生成する手段を備える。また、実数であるパラメータに適用するために正規化手段を備える。更に、例えばトランジスタ（MOSFET）特有の特性に高精度で合致するようにログスケールも考慮したパラメータの評価を行う評価手段を備える。このような構成によって、トランジスタの物理モデル等のパラメータ数の多いパラメータ調整に遺伝的アルゴリズムを適用することが可能となり、短時間で高精度なパラメータ群を決定できる。

WO 2006/107025 A1

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

パラメータ調整装置

技術分野

[0001] 本発明は、パラメータ調整装置に関するものであり、特に、トランジスタなどの半導体素子の物理モデルなどのように多数のパラメータを有するモデルの多数のパラメータを短時間で調整可能なパラメータ調整装置に関するものである。

背景技術

[0002] 例えばLSIの製造を行う場合、まず、当該製造ラインでトランジスタ(MOSFET)のゲートのチャネル長Lおよびチャネル幅W等の形状の異なる幾つかのトランジスタ(MOSFET)のサンプルを試作する。次に、この試作品の電気的特性の測定結果から、当該製造ラインにおいて製造されるトランジスタの特性に高精度で合致するように、トランジスタの物理モデルの複数のパラメータを調整する。そして、このトランジスタの物理モデルを使用して、SPICEなどの周知の回路シミュレータによって当該製造ラインにおいて製造する各種LSI(トランジスタ)のシミュレーションが行われていた。

[0003] トランジスタの物理モデルは、Vg(ゲート電圧)、Vd(ドレイン電圧)、Id(ドレイン電流)の関係等をゲートのチャネル長L、チャネル幅W等の変数および複数のパラメータを含む数式によって表現したものであり、多数のモデルが提案されている。そして、上記シミュレーションには例えば代表的な周知のBSIM(Berkeley Short Channel IGFET Model)が使用されていた。

[0004] BSIMは多数の数式からなり、調整すべきパラメータの数は数十～数百個以上ある。なお、トランジスタの物理モデルの詳細および従来のパラメータ調整方法については例えば下記文献に記載されているので、詳細な説明は省略する。

非特許文献1:鳥谷部達監修「MOSFETのモデリングとBSIM3ユーザーズガイド」平成14年2月28日丸善発行。

[0005] 本発明の発明者らが先に出願した下記の特許文献1には、遺伝的アルゴリズムを用いてトランジスタの物理モデルの複数のパラメータの調整処理を自動的に行うパラメータ調整装置が開示されている。

特許文献1:特開2005－038216号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記した従来のパラメータ調整方法においては、初期個体集団や子個体の生成においてはパラメータを所定の範囲内においてランダムに生成していた。初期個体数や生成する子個体の数が多い場合には、パラメータをランダムに生成してもパラメータの分布はほぼ一様となり、偏りは発生しない。しかし、トランジスタの物理モデルなどのように、パラメータ数が数十～数百となるような高次元の適用分野においては、個体数を多くすると必要な精度に達するまでに膨大な時間がかかり、計算の実行が不可能となる。

[0007] 現在のコンピュータで現実的に計算の実行が可能な集団数は例えば数百～数千程度であり、この程度の個体のパラメータを所定の範囲内においてランダムに生成すると、パラメータの分布に偏りが発生し、遺伝的アルゴリズムの計算を繰り返してもなかなか精度(個体の評価値)が向上しないという問題点があった。

本発明は、上記した課題を解決し、トランジスタなどの半導体素子の物理モデルの多数のパラメータを短時間で高精度に調整可能なパラメータ調整装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明のパラメータ調整装置は、複数のパラメータのそれぞれを遺伝子とする染色体を定義し、超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムを使用して前記パラメータを最適化するパラメータ調整手段を備えたことを主要な特徴とする。また、前記したパラメータ調整装置において、前記パラメータ調整手段は、超一様分布法としてラテン超方格法を採用した点にも特徴がある。また、前記したパラメータ調整装置において、前記パラメータ調整手段は、超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムの初期集団発生手段を備えた点にも特徴がある。

[0009] また、前記したパラメータ調整装置において、前記パラメータ調整手段は、超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムの交叉処理手段を備えた点にも特徴がある。また、前記したパラメータ調整装置において、前記交叉処理手段は、遺伝的アルゴリ

ズムにおける交叉処理において、親染色体群のベクトル空間における重心を求め、前記重心および親染色体群の値から定められるベクトル空間上の超多面体の内部に子染色体群の生成範囲を決定する生成範囲決定手段と、前記生成範囲内において超一様分布法を採用して遺伝子であるパラメータ値を決定するパラメータ生成手段とを備えた点にも特徴がある。

[0010] また、前記したパラメータ調整装置において、前記超一様分布法において、少なくとも1つの次元の軸をログスケールで均等に分割する点にも特徴がある。また、前記したパラメータ調整装置において、前記超一様分布法において、少なくとも1つの次元の軸を不均等に分割する点にも特徴がある。また、前記したパラメータ調整装置において、前記パラメータは半導体素子の物理モデルのパラメータであり、試作された半導体素子の特性測定データに基づき、各個体の評価値を算出する評価値算出手段を備えた点にも特徴がある。

発明の効果

[0011] 本発明のパラメータ調整装置は上記のような特徴によって、トランジスタの物理モデルなどのような多数のパラメータを有するモデルのパラメータ調整に遺伝的アルゴリズムを適用し、更にラテン超方格法などの超一様分布法を使用することによって、短時間で高精度なパラメータ群を決定できるという効果がある。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は本発明のパラメータ調整装置を使用してシミュレーションを行う場合の全体の手順を示すフローチャートである。

[図2]図2は試作するトランジスタの形状の選択方法を示す説明図である。

[図3]図3は遺伝的アルゴリズムを使用したパラメータ調整(フィッティング)処理を示す概略フローチャートである。

[図4]図4はS21の初期集団生成処理の内容を示すフローチャートである。

[図5]図5はS22の選択交叉処理の内容を示すフローチャートである。

[図6]図6は調整するパラメータをα、βの2個、個体集団よりランダムに選ばれた親個体の数を3個とした時の交叉の探索範囲(子個体の生成範囲)を示す説明図である。

[図7]図7はラテン超方格法によるパラメータ生成例を示す説明図である。

[図8]図8は評価計算処理の内容を示すフローチャートである。

[図9]図9は本発明の方法および従来のランダム法による初期母集団のパラメータ生成例を示す説明図である。

符号の説明

[0013] G 重心

P0～P2 親個体

発明を実施するための最良の形態

[0014] 以下に本発明のパラメータ調整装置の適用形態としてトランジスタの物理モデルのパラメータを調整する例を開示するが、本発明のパラメータ調整装置は公知の任意の半導体素子の物理モデルを始め、流体モデルや伝送路モデルなど、その他の公知の任意のモデルにも適用可能である。

[0015] 本発明のパラメータ調整装置は、後述するフローチャートによって示された処理を実行するプログラムを作成し、このプログラムを実行可能な周知の任意のコンピュータシステムにインストールすることによって実現する。なお、コンピュータシステムのハードウェアについては周知であるので詳細な説明は省略する。以下実施例1について説明する。

実施例 1

[0016] 図1は、本発明のパラメータ調整装置を使用してシミュレーションを行う場合の全体の手順を示すフローチャートである。前記したように、LSIの製造を行う場合、まずS10においては、当該LSI製造ラインでゲートのチャネル長Lおよびチャネル幅W等の形状の異なる幾つかのトランジスタ(MOSFET)のサンプルを試作する。

[0017] 図2は、試作するトランジスタの形状の選択方法を示す説明図である。形状の選択方法は、例えばLおよびWの最大値および最小値の間を等間隔で、あるいは最小値に近い方をより細かく区分し、L－W平面上で十字形状になるように試作するトランジスタの区分(形状)を選択する。

[0018] S11においては、試作したトランジスタの電気的特性を測定する。具体的にはIdVd特性(Vb固定)、IdVd特性(Vg固定)、IdVg特性(Vd固定)についてそれぞれ複数

個のサンプル値(離散データ)を得る測定を固定値を変えて複数回行う。なお、他の電気特性としてGm特性(トランスコンダクタンス)、Gds特性(チャンネルコンダクタンス)を離散データとして追加しても良い。S12においては、当該製造ラインにおいて製造されるトランジスタの特性に高精度で合致するように、本発明のパラメータ調整装置を使用して後述する方法によってトランジスタの物理モデルのパラメータ調整処理を行う。

[0019] S13においては、パラメータが調整された物理モデルを使用して、SPICEなどの周知の回路シミュレーションプログラムを使用して当該製造ラインにおいて製造する任意のチャネル長およびチャネル幅のトランジスタ回路の動作シミュレーションを行う。本発明のパラメータ調整装置を使用することにより、物理モデルの精度の高いパラメータが短時間で得られ、精度の高いシミュレーションを行うことができる。

[0020] 図3は、遺伝的アルゴリズムを使用したパラメータ調整(フィッティング)処理を示す概略フローチャートである。S20においては、一つ以上の離散データ群(測定結果)を用意する。S21においては、トランジスタの物理モデル関数の任意のパラメータを遺伝子とする個体(染色体)をN個生成し、個体初期集団とする。個体の生成とは個体の持つ染色体中の遺伝子のパラメータ値を決定することである。

[0021] BSIMには前記したように多数のパラメータがあるが、シミュレーションしたい内容によっては、調整を行わずに代表値に固定しておけばよいか、あるいは無視してよいパラメータもある。従って、調整すべきパラメータの数nはシミュレーションする目的によって異なり、百個以上の場合もあるが、例えば10個の場合もある。そこで、調整すべきパラメータの数nに依存して遺伝的アルゴリズムにおける染色体(個体)数Nや子の生成数mなどのパラメータを変化させるようにした。このことによって、nが小さければ処理も速くなる。実施例においては、例えば個体数N＝n×15とする。

[0022] また、BSIMにおいては、各パラメータについて推奨するパラメータ初期値の範囲が定められているので、各パラメータについて、推奨するパラメータ初期値の範囲内において後述する方法によって初期値を決定して遺伝子の値とする。なお、推奨するパラメータ初期値の範囲が広大な場合、そのパラメータに対応する遺伝子の値はログスケールで生成されてもよい。

[0023] S22においてはS21で生成された個体集団より、親個体となる染色体を選ぶ。この処理で選択する親個体の数pはN個以下である。そして、選択された親個体から後述する交叉処理により子個体をm個生成する。S23においてはS22で生成された子個体の評価値を計算する(詳細は後述する)。

[0024] S24においてはS22で選択した親個体と生成した子個体の中から評価の良い順にp個を個体母集団に戻し、残りを消去する。この処理によって評価値の低い染色体が淘汰される。なお、この他に、親個体の一部を淘汰の対象にせずにそのまま母集団に戻し、残りの親個体と子個体から評価の良い順に「残りの親個体」数分戻す方法を採用してもよい。

[0025] S25においてはアルゴリズム切り替え条件が満足されたか否かを判定し、条件を満たしていなければS22戻るが、条件を満たしている場合はS26に移行する。条件としては、計算回数が所定値を超えたか否か、あるいは評価値の減少率が所定値を下まわったか否かなどが挙げられる。S26においては局所的探索法として、例えば公知のPowell法あるいはその他の公知の局所的探索法によりパラメータの調整を行う。このように探索方法を切り替えることにより、パラメータ調整時間が短縮する。

[0026] 図4は、S21の初期集団生成処理の内容を示すフローチャートである。従来は、初期個体集団の生成においてはパラメータを所定の範囲内においてランダムに生成していたが、この実施例においては、初期個体集団の生成に超一様分布の一種であるラテン超方格法(Latin hypercube sampling、ラテンハイパーキューブ法、ラテン超格子法ともいう)を採用している。図7は、ラテン超方格法によるパラメータ生成例を示す説明図である。ラテン超方格法自体は公知であるので概要を説明する。

[0027] 図4のS30においては、n個の各パラメータの上下限値の間をそれぞれN分割し、超立方体をNのn乗個生成する。図7においては説明を簡単にするためにパラメータ数n＝2、分割数N＝4で等分割する例を示しており、図7(a)では16個の正方形(3次元なら立方体、4次元以上なら超立方体となる)が生成されている。なお、例えばパラメータの最適値が上下限値の中間付近にある確率が高いなど、予め予測可能なパラメータにおいては、例えば分割する単位を中央部分において細かくするなど、次元の軸を不均等に分割してもよい。

[0028] S31においては、ランダム順列(0, ・・・, N-1)をn本生成する。このランダム順列とは0からN-1までの整数をランダムに並べた順列であり、多数のパターンの順列が考えられるが、その内の任意のパターンのn個を生成する。なお、一般的なラテン超方格法においては同じパターンのものは排除されるが、本発明においては同じパターンのものであってもかまわない。図7の例の場合には、例えば(1, 3, 2, 0)や(2, 0, 3, 1)などの順列が考えられる。

[0029] S32においては、生成されたn本のランダム順列の同じ位置の値同士を組み合わせてN組の座標値を生成する。即ち、上記の例によれば2つのランダム順列(1, 3, 2, 0)と(2, 0, 3, 1)の同じ位置の値同士を組み合わせることにより、(1, 2)(3, 0)(2, 3)(0, 1)のN=4組の超立方体(正方形)座標値が生成できる。図7(b)に、生成された超立方体座標値と対応する正方形がハッチングにより示してある。

[0030] S33においては、生成された座標値に対応する超立方体内において、各パラメータをランダムに生成して個体(染色体)を生成する。図7(c)に、生成された個体の遺伝子(パラメータ)が×印により示してある。なお、超立方体内において生成する各パラメータを分割された区間の中央値としてもよい。

[0031] 図9は、本発明の方法および従来のランダム法による初期母集団のパラメータ生成例を示す説明図である。図9下段は従来のランダム法を採用したパラメータ生成例を示している。集団の数が少ない場合、領域内でパラメータをランダムに発生させた場合は図示されているように偏りが発生する場合がある。図9上段は本発明のラテン超方格法を採用したパラメータ生成例を示している。パラメータ数n=2、分割数N=10で等分割した例である。図示されているように、2次元領域内に均等に分布していることが判る。

[0032] 次に本発明における交叉処理について説明する。図5は、S22の選択交叉処理の内容を示すフローチャートである。この交叉法は複数の親個体の遺伝子から計算された多面体の中から子個体の遺伝子を生成する実数値向け交叉法であり、かつ、ラテン超方格法を使用する。

[0033] S40においては、個体集団から親個体をp個ランダムに選ぶ。pの値は調整するパラメータがn個の場合、p=n+1とするのが望ましい。S41においては、選択されたp

個の親個体の重心Gを計算する。即ち、各パラメータ毎に平均値を求める。

[0034] S42においては、定義域がそれぞれ[0,1]の(p-1)次元空間において、それぞれの座標軸をm個に分割し、超立方体をmの(p-1)乗個生成する。S43においては、ランダム順列(0, ・・・, m-1)を(p－1)本生成する。S44においては、ランダム順列の同じ位置の値同士を組み合わせてm組の座標値を生成する。

[0035] S45においては、生成された座標値に対応する超立方体内にそれぞれ生成されるベクトル$u^i(i=0,\cdots,m-1)\in[0,1]^{p-1}$を定義する。S46においては、ベクトル$u^i(i=0,\cdots,m-1)$の各要素$u_k^i\in[0,1](k=0,\cdots,p-2)$に超立方体内でランダムに生成した値を代入する。

[0036] S47においては、変数iを0に設定する。S48においては、重心Gおよび超一様に分布するベクトルu^iから次式の演算により子個体C^iを生成する。

[0037] [数1]

$$C^i = x_{p-1} + C^i_{p-1}$$

$$x_k = G + \varepsilon(P_k - G)$$

$$C^i_k = \begin{cases} 0 & (k=0) \\ r^i_{k-1}(x_{k-1} - x_k + C^i_{k-1}) & (k=1,\cdots,p-1) \end{cases}$$

$$r^i_k = (u^i_k)^{\frac{1}{k+1}}$$

[0038] ここで、pは選択された親個体の数、C^iは生成される子個体の染色体を示すベクトル、P_kは選択された親個体の染色体を示すベクトル、x_kは各親個体のベクトルから計算され、子個体の遺伝子の生成範囲を定めるベクトル、C_k^iは前記したu_k^iとx_kに基づき、ベクトル成分を重ね合わせていくことで順に生成されるベクトルを表している。なお、遺伝子の初期値がログスケールで生成されたパラメータについては、子個体の生成時にもログスケールで計算を行う。

[0039] S49においては、変数iに1を加算する。S50においては、変数iがm以上であるか否かが判定され、判定結果が否定の場合にはS48に移行するが、肯定の場合には

処理を終了する。この処理によってm個の子個体が生成される。mは10×n程度が望ましい。

[0040] 図6は、調整するパラメータをα、βの2個、個体集団よりランダムに選ばれた親個体の数を3個とした時の交叉の探索範囲(子個体の生成範囲)を示す説明図である。重心Gから各親個体P1～P3までのベクトルをε倍して子個体の生成範囲(図6の外側の三角形の内部)を決定し、その範囲からラテン超方格法を使用して子個体を生成する。εの推奨値は親個体の数がp個の時、√(p+1)である。なお、パラメータ数が3以上の場合には子個体の生成範囲は複数の超平面によって囲まれた超多面体の内部空間となる。

[0041] 次に、S23において実行される評価値の計算について説明する。用意した離散データ群と染色体中の遺伝子をモデルパラメータとするトランジスタ電気特性モデル関数で計算した推定データ群よりその染色体の評価値を計算する。評価値とは、染色体中の遺伝子がモデルパラメータとしてどれだけ理想的な値に近いかを示す値である。

[0042] 離散データ群の中には線形スケールで見るとほぼ0に見えるが、ログスケールで見た場合、大きく値が変化している部分がある。このような性質をサブスレショルド特性という。この部分は、他の部分と比較すると絶対値が小さいので、誤差の絶対値も小さく、この部分を通常の線形スケールのデータ群のみを用いて最適化することは困難である。

[0043] また、この部分を調整するためにログスケールのデータ群のみ用意して最適化を行うと、サブスレショルド特性は最適化することができるが、逆にそれ以外の部分の誤差が大きくなり、ずれが生じてしまう。

[0044] 本発明においては、MOSトランジスタ電気特性モデルパラメータはサブスレショルド特性を推定するパラメータとそれ以外の部分を推定するパラメータが独立していることに注目し、以下に示すスケーリング処理によって、ログスケールのデータ群と線形スケールのデータ群を同時に読み込んで、全ての特性を同時に調整する。

[0045] なお、離散データ群間でスケーリングが異なる場合、二乗誤差を取るとスケールの小さいデータ群は評価値に与える影響が小さくなってしまう。そのため前述したスケ

ーリング処理を行っても調整精度が落ちる恐れがある。そこで、本発明では各データ群中の離散データを正規化し、スケールを統一することによって調整精度を向上させる。

[0046] 図8は、評価計算処理の内容を示すフローチャートである。S60においては、未評価の個体の遺伝子を読み込み、トランジスタ電気特性モデル関数のモデルパラメータとする。S61においては、離散データ群を読み込む。S62においては、遺伝子のパラメータに基づき離散データ群を予測する推定データ群を計算する。

[0047] S63においては、離散データ群及び、それに対応している推定データ群をログスケールに変換した対数データを生成する。なお、Id－Vd特性はリニアのみで評価し、Id－Vg特性はログとリニアの両方で評価するのが一般的である。また、他の電気特性としてGm特性(トランスコンダクタンス)、Gds特性(チャンネルコンダクタンス)を離散データとして追加しても良く、この場合、Gm特性はリニアのみで、Gds特性はログのみで評価するのが一般的である。もちろん、いずれの特性も、ログとリニアの両方で評価しても問題ない。

S64においては、すべてのデータ群を正規化する。即ち、まずデータ群中の最大値fmax及び最小値fminを求める。次に、下記の数式2によってデータ群中の全ての離散データf(i)を正規化データg(i)に変換する。

[0048] [数2]

$$g(i) = \frac{f(i) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$$

[0049] ここで、g(i):正規化データ、f(i):離散データ、fmax: データ群中の最大値、fmin: データ群中の最小値である。この演算によって離散データを[0, 1]の範囲内に正規化することができる。

[0050] S65においては、線形スケールのデータ群のみの評価値A＝Σ(正規化離散データと正規化推定データの2乗誤差)を算出する。S66においては、ログスケールのデータ群のみの評価値B＝Σ[log(正規化離散データ)とlog(正規化推定データ)の2乗誤差]を算出する。

[0051] S67においては、AとBとを加算して評価値を算出する。なお、評価値の計算に2乗誤差を用いているが、2乗誤差の代わりに誤差率を求めるようにしてもよい。S68においては、全ての個体について評価値の算出が完了したか否かが判定され、判定結果が否定の場合にはS60に移行するが、肯定の場合には処理を終了する。

[0052] 以上のような処理によって、短時間で高精度のパラメータ調整ができる。そして、物理モデルに当該パラメータを採用することにより、試作をせずに高精度の回路シミュレーションを行うことができるので、半導体素子の製造効率が向上する。

[0053] 以上実施例1を説明したが、本発明のパラメータ調整装置には以下のような変形例も考えられる。実施例においては、超一様分布としてラテン超方格法を使用する例を開示したが、超一様分布としては、公知のLSS(Latin Supercube Sampling)など、他の超一様分布を採用してもよい。

物理モデル例としてはBSIMを挙げたが、本発明はBSIMの他、公知の任意の半導体素子の物理モデルを使用可能である。また、本発明は公知の任意の物理モデル、更に物理モデル以外の各種モデルのパラメータ調整にも適用可能である。

請求の範囲

[1] 複数のパラメータのそれぞれを遺伝子とする染色体を定義し、超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムを使用して前記パラメータを最適化するパラメータ調整手段を備えたことを特徴とするパラメータ調整装置。

[2] 前記パラメータ調整手段は、超一様分布法としてラテン超方格法を採用したことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

[3] 前記パラメータ調整手段は、超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムの初期集団発生手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

[4] 前記パラメータ調整手段は、超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムの交叉処理手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

[5] 前記交叉処理手段は、

遺伝的アルゴリズムにおける交叉処理において、親染色体群のベクトル空間における重心を求め、前記重心および親染色体群の値から定められるベクトル空間上の超多面体の内部に子染色体群の生成範囲を決定する生成範囲決定手段と、

前記生成範囲内において超一様分布法を採用して遺伝子であるパラメータ値を決定するパラメータ生成手段と

を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

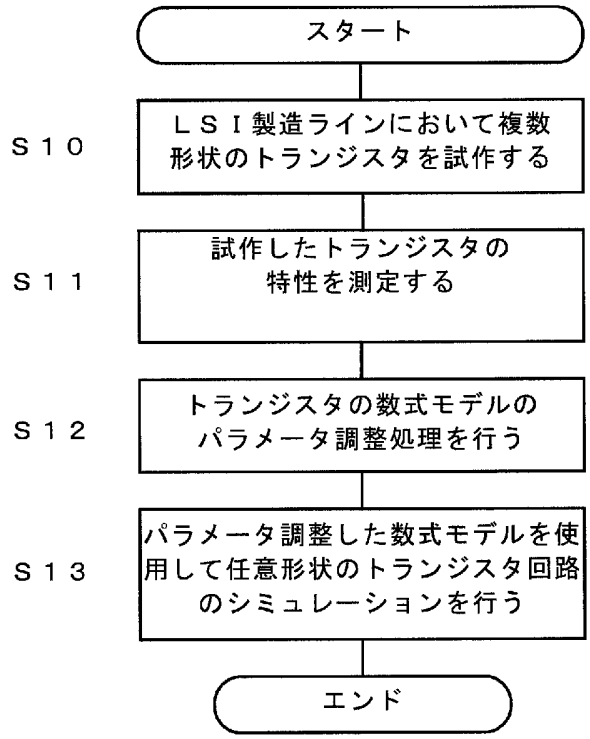
[6] 前記超一様分布法において、少なくとも1つの次元の軸をログスケールで均等に分割することを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

[7] 前記超一様分布法において、少なくとも1つの次元の軸を不均等に分割することを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

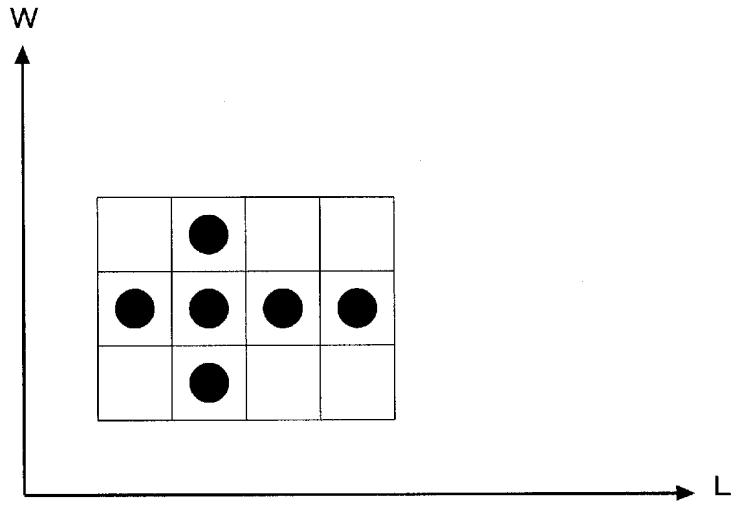
[8] 前記パラメータは半導体素子の物理モデルのパラメータであり、

試作された半導体素子の特性測定データに基づき、各個体の評価値を算出する評価値算出手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

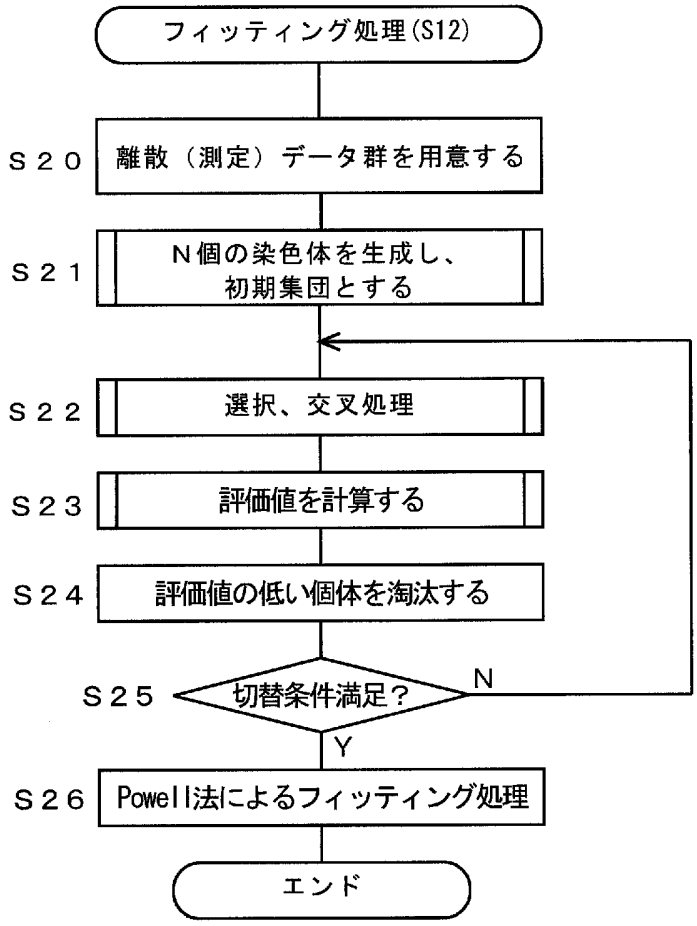
[図1]


スタート
S１０
ＬＳＩ製造ラインにおいて複数形状のトランジスタを試作する
S１１
試作したトランジスタの特性を測定する
S１２
トランジスタの数式モデルのパラメータ調整処理を行う
S１３
パラメータ調整した数式モデルを使用して任意形状のトランジスタ回路のシミュレーションを行う
エンド

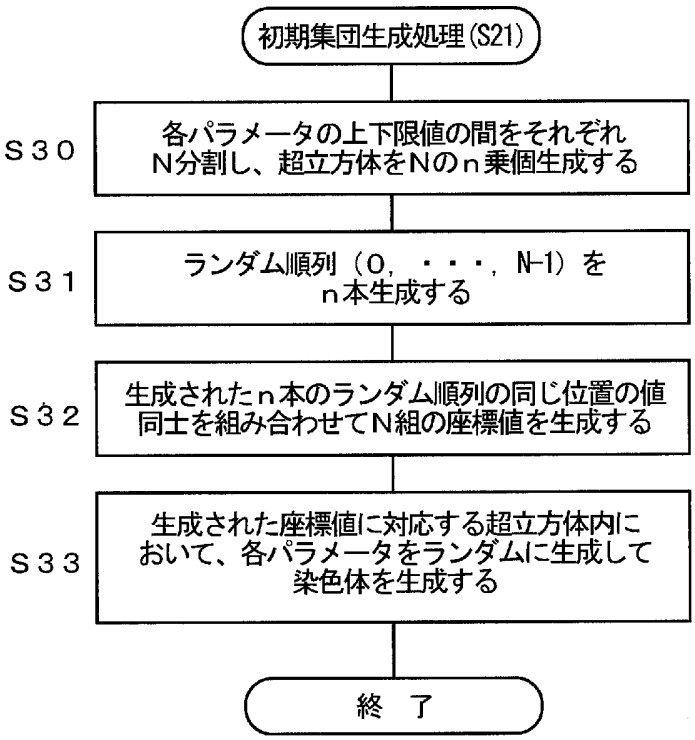
[図2]


W
L

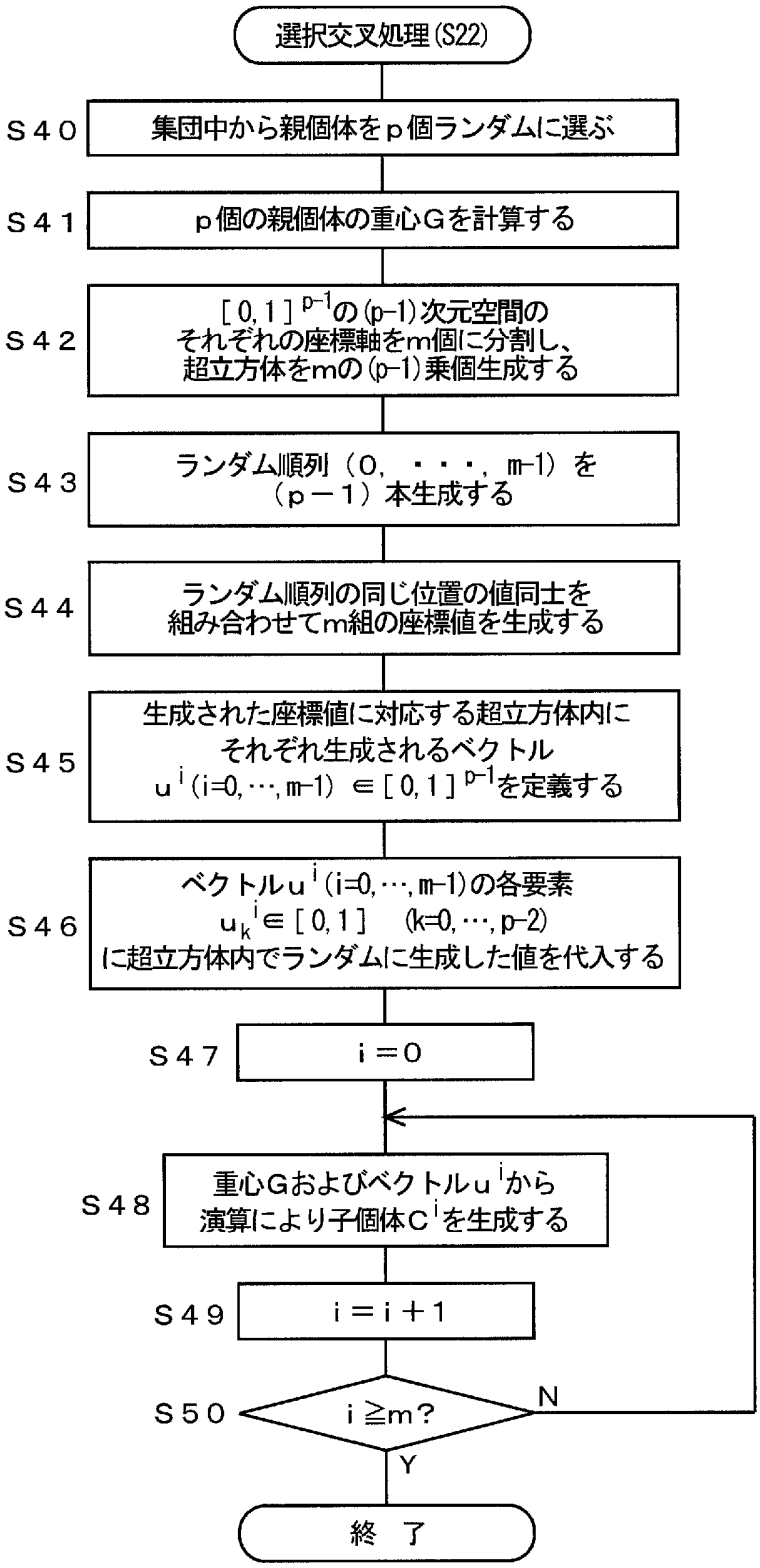
[図3]


フィッティング処理(S12)
S20
離散（測定）データ群を用意する
S21
N個の染色体を生成し、
初期集団とする
S22
選択、交叉処理
S23
評価値を計算する
S24
評価値の低い個体を淘汰する
S25
切替条件満足？
N
Y
S26
Powell法によるフィッティング処理
エンド

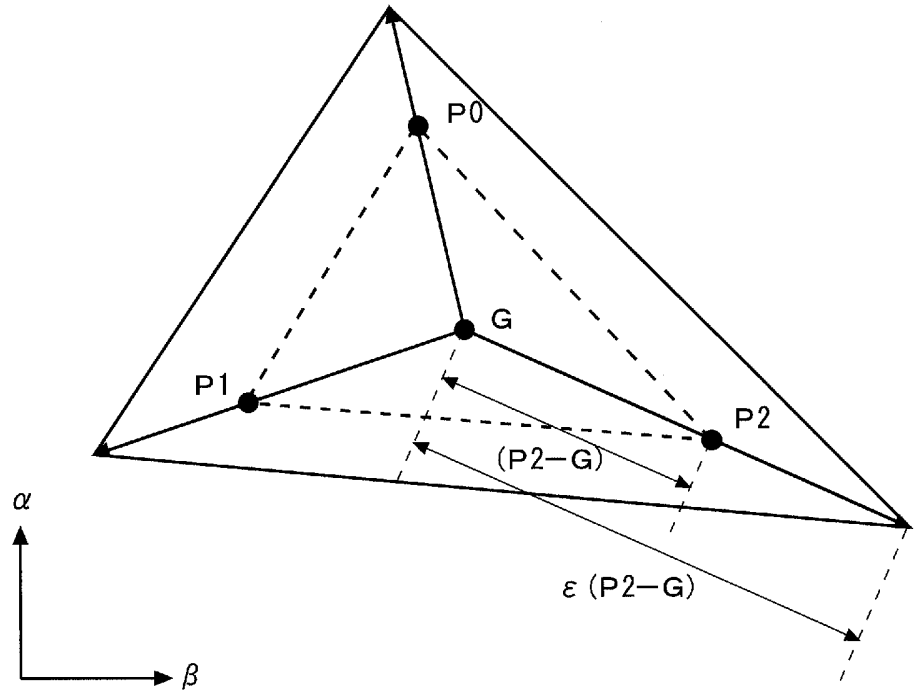
[図4]


初期集団生成処理(S21)
S30
各パラメータの上下限値の間をそれぞれ
N分割し、超立方体をNのｎ乗個生成する
S31
ランダム順列（0，・・・，N-1）を
ｎ本生成する
S32
生成されたｎ本のランダム順列の同じ位置の値
同士を組み合わせてN組の座標値を生成する
S33
生成された座標値に対応する超立方体内に
おいて、各パラメータをランダムに生成して
染色体を生成する
終　了

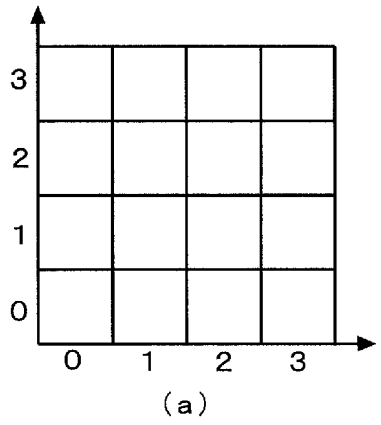
[図5]


選択交叉処理(S22)
S40
集団中から親個体をp個ランダムに選ぶ
S41
p個の親個体の重心Gを計算する
S42
[0,1]^(p-1)の(p-1)次元空間の
それぞれの座標軸をm個に分割し、
超立方体をmの(p-1)乗個生成する
S43
ランダム順列（0, ・・・, m-1）を
（p－1）本生成する
S44
ランダム順列の同じ位置の値同士を
組み合わせてm組の座標値を生成する
S45
生成された座標値に対応する超立方体内に
それぞれ生成されるベクトル
u^i (i=0,…,m-1) ∈ [0,1]^(p-1)を定義する
S46
ベクトルu^i (i=0,…,m-1)の各要素
u_k^i ∈ [0,1] (k=0,…,p-2)
に超立方体内でランダムに生成した値を代入する
S47
i＝0
S48
重心Gおよびベクトルu^iから
演算により子個体C^iを生成する
S49
i＝i＋1
S50
i≧m?
N
Y
終 了

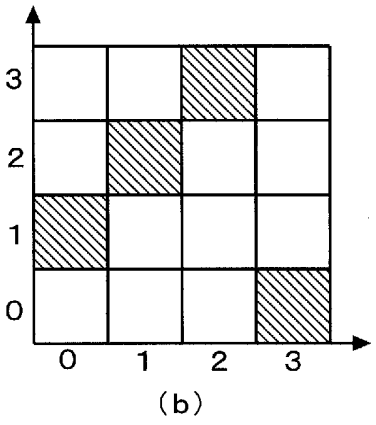
[図6]



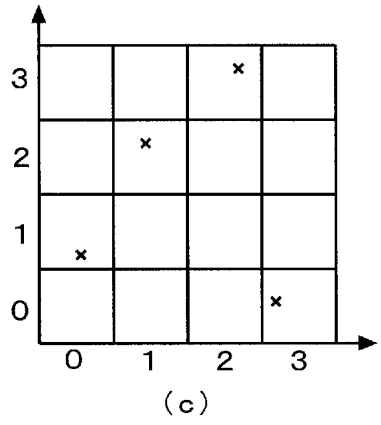
[図7]



(a)

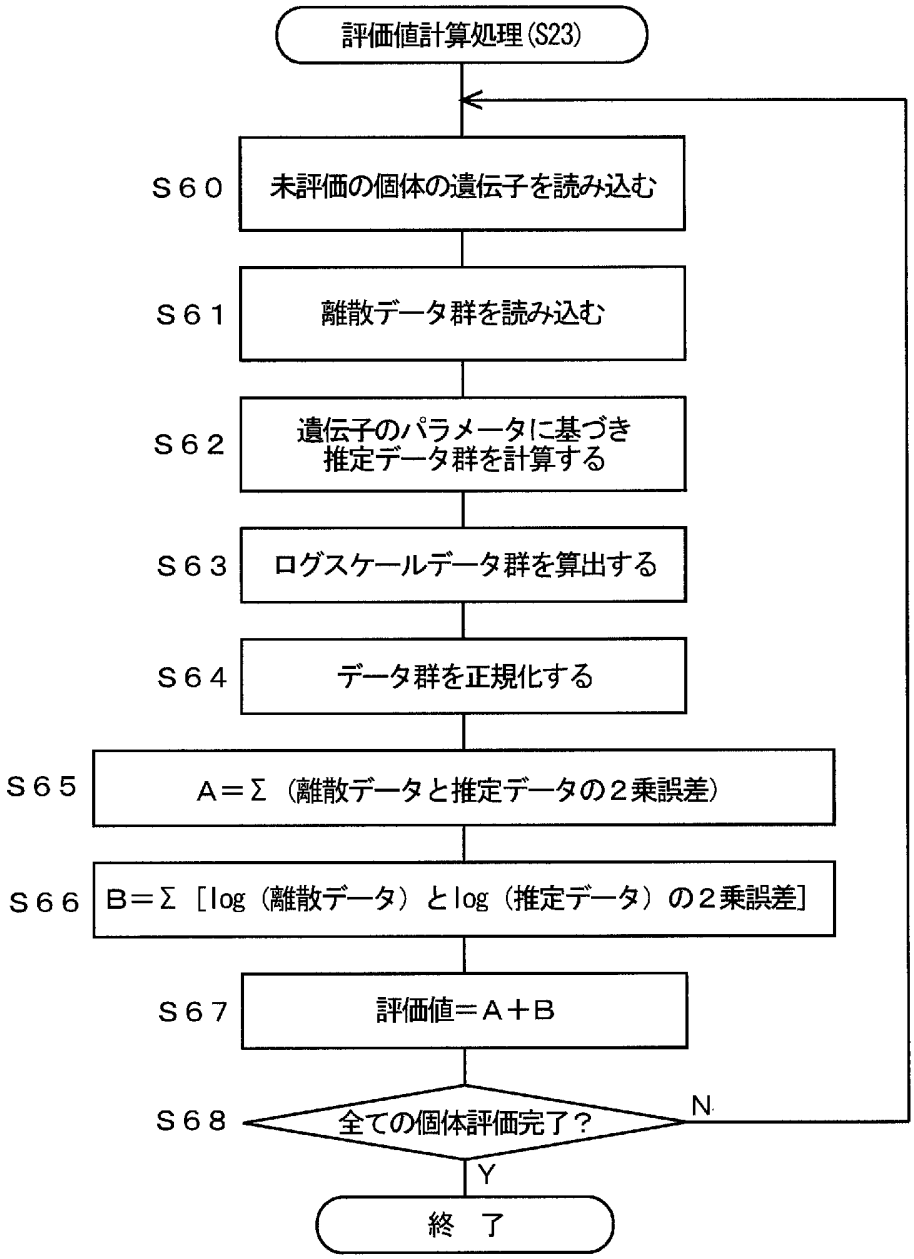


(b)

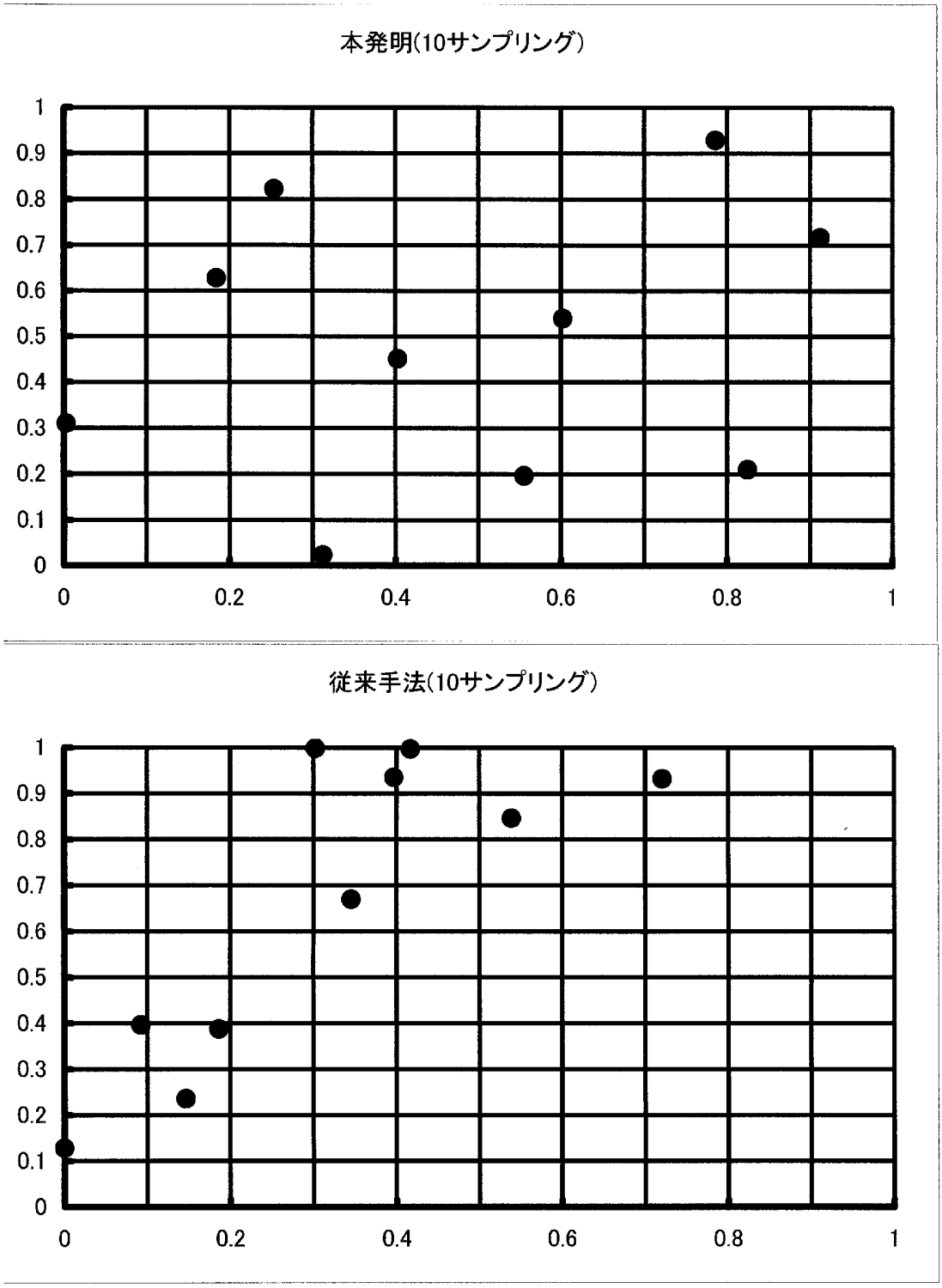


(c)

[図8]


評価値計算処理(S23)
S60
未評価の個体の遺伝子を読み込む
S61
離散データ群を読み込む
S62
遺伝子のパラメータに基づき
推定データ群を計算する
S63
ログスケールデータ群を算出する
S64
データ群を正規化する
S65
A＝Σ（離散データと推定データの２乗誤差）
S66
B＝Σ［log（離散データ）とlog（推定データ）の２乗誤差］
S67
評価値＝A＋B
S68
全ての個体評価完了？
N
Y
終　了

[図9]


本発明(10サンプリング)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
従来手法(10サンプリング)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2006/307053

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G06N3/00(2006.01), ***G06F17/50***(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06N3/00(2006.01), ***G06F17/50***(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Ronald W. Morrison, Dispersion-based Population Initialization, Genetic and Evolutionary Computation Conference, USA, 12 July, 2003 (12.07.03), Proceedings, pages 1210 to 1221	1,2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 June, 2006 (20.06.06)	27 June, 2006 (27.06.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2006/307053

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The technical matter common to the inventions of claims 1-8 is to "comprise parameter adjusting means for optimizing the parameters by using a genetic algorithm adopting the hyperuniform distribution method". However, the international search has revealed that the parameter adjusting means is not novel since it is disclosed in prior art document. Consequently, since the parameter adjusting means makes no contribution over the prior art, the common mater (parameter adjusting means) is not a special technical feature... Therefore, there is no matter common to all the inventions of claims 1-8. Since there is no other common matter considered as a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, (Continued to extra sheet.)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-2

Remark on Protest

the

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

second sentence, no technical relationship within the meaning of PCT Rule 13 between the different inventions can be seen. Consequently, the inventions of claims 1-8 obviously do not satisfy the requirement of unity of invention.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００６／３０７０５３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　*G06N3/00(2006.01), G06F17/50(2006.01)*

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　*G06N3/00(2006.01), G06F17/50(2006.01)*

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
X	Ronald W. Morrison, Dispersion-based Population Initialization, Genetic and Evolutionary Computation Conference, USA, 12 July, 2003. Proceedings, page 1210-1221	1,2

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２０．０６．２００６	２７．０６．２００６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｂ　３６５０
赤穂　州一郎
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５４５

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００６／３０７０５３

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲１－８に係る発明の共通の事項は、「超一様分布法を採用した遺伝的アルゴリズムを使用して前記パラメータを最適化するパラメータ調整手段を備えたこと」である。しかしながら、調査の結果、このパラメータ調整手段は、先行技術文献に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。結果として、このパラメータ調整手段は先行技術の域を出ないから、ＰＣＴ規則１３．２の第２文の意味において、この共通事項（パラメータ調整手段）は特別な技術的特徴ではない。それ故、請求の範囲１－８に係る発明全てに共通の事項はない。
ＰＣＴ規則１３．２の第２文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通の事項は存在しないので、それらの相違する発明の間にＰＣＴ規則１３の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。よって、請求の範囲１－８に係る発明は発明の単一性の要件を満たしていないことが明らかである。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。

２．☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

４．☑ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲１－２

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☑ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。