論文用語

青,緑,黄の順番で重要度を変えている

NSGA-Ⅱ 2002

* Abstract

難問題のシミュレーションの結果は、ここで示されるNSGA-2(nondominated-sorting-genetic-algorithm)がpareto-archived evolution strategyとstrength-pareto EA すなわち、そのほか2つの多様なパレートフロントに注力する優劣 MOEAと比べて、より良い解範囲と収束を真（求めるべき解がある）のパレートフロントの近くで見つけることができる。さらにその上、(無理な)or(制限された)多目的問題を解決するための優勢の定義を修正することができる。

＊計算性の改善を具体的に説明を

* 1：（旧最適化は多くの回数こなさなければならず、毎回のシミュレーションで異なる最適解が見つかることを願って行われることになるが、多くの学者がMOEA（multi-o bjective evolutionary algorithm）を研究する主な理由は多目的パレート最適解を一回のシミュレーションで見つけられるからだ。その中でもNSGAは初代MOEAの中の一つであり、長年に渡って、評価方法は以下の３つのようになる。）

この記事ではこれらNSGAの全ての問題を提唱し、NSGAの改善版NSGA-2を提案する

制限された多目的最適化は実際問題を解く観点から重要であるが、EA研究者たちの間ではこの観点はとても強く注意が支払われているとは言えない。そこで一つの制限を扱う戦略をどのEAにも良く合うNSGA-2とともに提案する

2002の諸々の進化計算の問題点を出し、それに対する対応をNSGA-2を行うことその旨が書かれており、この後の翔の説明を載せている。

* 2:簡単にいくつかの存在するエリート主義の進化計算

３つの進化計算についての簡単な説明

* 3：NSGA-2のアルゴリズムについて詳細に話す

1)高速支配ソート

2)高速混雑距離予測法,単純混雑比較オペレータ（＜）

3)1,2を使ったNSGA-2のアルゴリズム解説

1)高速支配ソート

単純そして時間のかかる異なる非優越レベルの母集団ソートの手順を説明する

母集団Nにおいてどの解もその他の解に支配されているかどうかを比べられる、

これはO（M N）の計算量がかかる

つまりただの非優越ソートは時間がかかる、最初の非優越レベルと同じ要素が全て見つかるまで母集団のなかで続けられるときは以下の計算量となるこの時の計算量はO(MN2)その後、最悪はパレートの枚数がN-1枚,あれば、O（M N3）となる。

これをNSGA-2はO(MN^2)にすることができる

計算過程はノートを参考に

2)高速混雑距離予測法,単純混雑比較オペレータ（＜）

収束するに伴い解の多様性、広がりが望まれNSGAはシェアリング関数アプローチを使われているのが広まっているが、それには適切なパラメタの設定が多様性のあるアプローチの秘訣, しかし、シェアりんぐには「シャアリングパラメータの値の選択により、解の広がりにおけシェアリングアプローチのパフォーマンスを左右する」、「どの解も母集団の中のそのほかの解全てと比べられなければならないから、全体的なシェアリングアプローチの複雑性はO(N^2)である」という難点がある、そこでNSGA-2ではシェアリングからある程度上記の違いを排除する混雑比較法を導入した。（この混雑比較法は母集団の要素の多様性にユーザのパラメタ決定が必要ない。）

混雑比較法は以下の２つを用いて行われる

1. 混雑予測

この手法は目的関数値の絶対値の昇順で母集団をソートする、その後、それぞれの目的関数値に対して、境界の解＝直方体の頂点となる解には対象の解からの無限の距離値とし、そのほかのその他の解は２つの隣接する解の絶対値化された差に等しい距離値が割り当てられる

1. 混雑比較変数を定義する

ノート

3)1,2を使ったNSGA-2のアルゴリズム解説

N S G A-2の解説

1. 同じパレートフロント（同じランク）からランダムに親母集団（サイズN）が作る（ランクが引くほどベスト）
2. 最初に普通のバイナリトーナメント選択、つなぐ、変化したオペレータ（変数？）は子孫集団Q0（サイズN）を作る
3. 現在の集団（子孫集団）とそれまでに見つかった最良解を持つ母集団（親集団たちのベスト）を比較し、エリート主義が親集団が作られた後からは導入される
4. (NSGA2を単純でわかりやすく表す、ステップバイステップ法で世代集団を作る)
   1. T世代目の親集団（ベスト）PtとQtを結びつけてRtとする（サイズ２N）
   2. ここで、３で述べた通りこれまでの母集団と現在の母集団があるため、エリート主義が保証される,,F1はベストな非支配セットでこれまでの統合からベストな解群であり、最も強調されなければならない、F1がNより小さい場合は新しい子孫集団（Pi+1,Qtとも言える）として選ぶ、
   3. 足りない残りのPt+1のメンバは次のランクのフロントから選ばれるので次の解セットF2が次は選ばれる
   4. …続く
   5. Flはその後の後続のフロント（解セット,Spのこと）がないことを定義する
5. 4を行うにはバイナリトーナメントオペレたではなく混雑比較オペレた＜を使って選択していることを忘れルナ、そして混雑比較オペレたはこれまでのA),B)で用いたアルゴリズムを使って続々とできる母集団一つ一つの中で混雑距離、ランク（フロントの数？Spのこと？）を求めることが必要である

…あとは計算量の話が続く

* ４：二つのエリート主義のMOEAとNSGA-2のシミュ結果を
* 5章ではパラメータ同士の相互作用の問題（進化計算研究の重要な問題）
* 6章ではNSGA-2を制限と5章で得た結果（考え）と別の2002頃に提案された制限を扱う方法の比較するために拡張する
* 7章でこの論文の結論を述べる
* EA：evolutionary algorithms ：進化計算
* Computational complexity：計算の複雑性
* Population size 集団サイズ
* A

テキスト, 手紙

自動的に生成された説明テキスト, 手紙

自動的に生成された説明

数理計画用語集

<https://www.msi.co.jp/nuopt/glossary/term_5d18c904686aee357546769d71b75d14dc4a7fb0.html>

輪読

~~：英文と日本文を1対１で併記してwordに貼り付けておく~~

：mendeleyに素のpdfをアップロード、コメントをつけていく

→輪読で説明するときにも参照する

1. 概要説明
2. それぞれの章の説明
3. 3章の説明

・Sharing理論の解説

先週のおさらい

Abstract

・N S G A２はより良い「解の広がり」と、「パレート最適の近くでの収束」を持つ

１.Introduction

・（7行目:左Classical~）これまでの多目的最適化のメソッドは、（一度に一つのパレート最適に注目して）多目的最適化問題を単目的最適化問題へとすることによって求めてきたが、その方法は多くの回数と異なる解の発見を毎回のシミュレーションで希望的に求めることであった。

（右1行目：the primary~）ここで、注目されたのが多目的進化計算である。なぜなら一回のシミュレーションで多目的パレート最適解を見つけることができる可能性があるからである。

→進化計算では多くの点を同時に探索する多点探索を行う、勾配法とかだと一点から始まりパレートフロントの一点しか求められない、しかも勾配法だと不連続か連続かで（一次微分、2次微分をする必要がある）使えるかどうかが決まる。しかし、進化計算は微分なども必要ないから、難しい関数にもエントリは簡単に入れる。

(右8行目：The nondominated~)その進化計算の中でも,NSGAには以下の問題があった

①非優越ソートの大きな計算の複雑性（O(MN3)に複雑性、毎度非優越ソートを行うことから生じる）→式を出すときは変数の意味を詳細に記す。

②エリート主義の欠落（良い解の損失）

③シェアリンングパラメタの特定の必要性（ユーザが独自に決めなくてはいけない状態であり、パラメタの多様性はより少ない者が良かったのに動的なサイズを取るものであった）

2エリート主義（優秀な解を残す）多目的進化計算について

（左５行：These algorithms~）)(MOGA,NSGA,NPGAなどの)多目的進化計算は、単目的から多目的に利用するために、追加の演算子が不可欠であり、加えられるオペレータには（３つ全ての演算子には）２つの特徴がある

①非優越ソートに基づく、母集団割り当ての適当さ（高速非優越そーと）

②同一非優越フロントでの解の多様性の補完（混雑比較、混雑距離予測）

①、②を特徴としてもつ演算子は（多くのテスト問題とエンジニアの持つ問題における）多数の非優越解を見つけることが示されているが、研究者は多目的最適化問題のためにより良い演算子の導入が必要であることに気づく。そして、それは多目的EAの収束特性を強めるためのエリート主義を導入することになる

エリート主義の導入により、より良い収束を見せたE Aをいくつか紹介しよう

・SPEAのエリート主義導入（左）

全ての世代で初期の母集団からその世代までに見つけられた非優越解を次（外部？）の

母集団にまで保持すること、つまりどの世代でも追加と既存の母集団を合わせ、その代の母集団を最初に形成する。統合された母集団の全ての非優劣解はその解が支配する数に基づき適性が割り振られ、そして支配された解はどの非優越解の中のより悪い適合性が割り振られる、上記の決定的なクラスタリングテクニックは非優越解の中での多様性を保証し、計算量はMN^3をMN^2に減らされる

・PAES（The Pareto archived evolution strategy）のエリート主義の導入

（左下から５行目〜）Knowles and Corneは一つの親から一つの子ができるような(1+1)-evolution strategyを提唱する。実際のパラメタを使う代わりに、二進文字列が使われ、子孫を作るため、ビット単位での変化が行われる。また、彼らの計算では

（１）子はその親とだけ比較される。もし子が親を支配しているならば、子が次の親になり、この反復が繰り返される。

（２）逆に親が子を支配する場合はその子は捨てられ、新たな子が見つけられる。

（３）もしどちらにも支配関係がない場合には、これまでのベストな解の記録を比較し、どちらを選択するか決める

(上から６行目：The offspring is~)

子が他を支配するか記録をチェックし、もしそうならその子が新たな親となり、それまでの全ての優越解が排除される。もしそうでないなら、その子とその親は記録に残っている解の近さがチェックされる.もし、子が記録に残る解たちの目的空間の混雑していない部分にいるのなら、親となり、記録に追加される。

混雑は全体のサーチスペースをd^nのサブスペースに分けること（dは深さパラメタ？、nは決定変数の数）と、動的にサブスペースを更新することで保たれる。

また、PAESの計算はO（aMN）,aは記録長さで、母集団サイズNに比例し、全体的な計算はO（M N２）

・ルドルフは親と子の母集団から個々を比較するシステムに基づく単純なエリート主義M O E Aを提案した。子の非優越解は全体的な解の非優越セットを作るため、親の非優越解と比較され、そして２つの解集合から選ばれた解が次の親集団となる。このセットのサイズが望まれたサイズより大きくなければ、他の子の集団からセットに入れる。

この戦略はパレートフロントで計算が収束することがわかった。このことは重要な結果だが、パレート最適解の多様性は欠けていた。明らかな解の多様性を保証できるメカニズムが必要なのである。

明らかな多様性を保つメカニズムはより実践的に付け加えなければならない。

この計算はO（M N２）である

3)NSGA-2のアルゴリズム解説

A 高速非優越ソート（ノート参照）２つの構造とする

B シェアリング法、混雑距離、

(B:3行目:The original NSGA~)NSGAでは解の広がりを決定するsharing関数によるアプローチを使っていた。適切なシェアリングパラメタの設定が多様性のあるアプローチの秘訣となる。つまり、シャアリングパラメータの値の選択により、解の広がりのパフォーマンスを左右する。

（シェアリング関数によるアプローチとシェアリングアプローチの説明はする？）

しかし、シェアリングアプローチは２つの困難がある

１）解の広がりを維持するにはシェアリングパラメータのユーザによる選択が大きく関わる

２）母集団内で全ての解が、その他の解と距離計算が行われるため、全体的にO（N２）の計算量がかかる（なぜ全ての解がその他の解と距離計算するのか？片方で求めたらもう良くないか？）

（B：３行目：In the proposed~）N S G A２では以上の困難を取り除くため、混雑比較法を使う。ユーザによるパラメタの設定が必要なくなり、計算量も少なくなる。

まず、(1)密度予測距離と混雑比較演算子を定義する。

(１)密度予測距離（板書した方が良いか）

母集団の特定の解付近の解の密度推定を得るため、それぞれの目的関数に沿った２つのポイントの距離の平均を計算する、これをi distanceとする.（２つのポイントとは、最も近くの解を頂点として使い直方体を形成したその部分）

（シェアリングについて

<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/mop_ga/paper/watanabe/graduate.pdf>

シェアリングパラメータは二つの母集団の要素の距離を計るため、距離による測量的な選び方が関係している、シェアリングパラメータは母集団内のある２つの解がそれぞれ互いに（目的関数への？）適合性を共有する距離を最も大きな値で表す、 ）

シェアリング関数のアプローチは

→端点は絶対に削ってはいけない解

→fmax - fminで割るのはkmがmm単位で表せられるならば、その単位をなくす（次元をなくす）ということ

(2) (crowded-comparison operator)混雑比較演算子

個々の解は以下の２つの特徴を持つ

（ⅰ）高速非優越ソートによる非優越レベル

（ⅱ）混雑密度距離

この二つの特徴から、以下の演算子を定義する。

板書で演算子の説明をする

C：N S G A-2の解説

1. (冒頭)まずランダムに選び親集団P０（サイズN）を作る。その後高速非優越ソートにより、求められた非優越レベルにより、ランク付けがP0の内部で行われる(ランクの最小化が仮定される？)。
2. （下から３行目：At first~）最初にP０を使い（？）バイナリトーナメント選択（ランダムに２個体を選びだし、優れた個体を子集団に加える→この場合何を優れているとするのか？）,recombination,突然変異（ビット反転）をして子集団Q0を再編する

・・・この後子集団とそれまでに見つかった最良解を持つ母集団（親集団たちのベスト）を比較する、エリート主義を導入する

1. (P186：上から５行目:the step-by-step~)

ここからNSGA2の重要なアルゴリズムを解説する

* 1. T世代目の親,子集団PtとQtを結びつけてRtとする（サイズ２N）そして、

高速非優越度によって内部をソート（解集合の集合F(F1,F2,,,,,)を作る→解をフロントで分ける）

* 1. ここで、これまでの母集団と現在の母集団がRtに含まれるため、エリート主義が保証される,,Fの要素F1,F2,,,,,＝フロント別に、混雑距離予測で混雑距離を求める。

Rtに含まれるF1（最も少ない非優越度の解の集合）の解は、これまで統合された母集団のベストな解集合であるため

・F1がサイズNより大きい場合→終了

・F1がNより小さい場合→次の親集団Pt+1を作り、Pt+1に今あるF１を入れ（ウ）へ

* 1. 足りない残りのPt+1のメンバは、RtにあるF1の次に良い解集合F2の解から選ばれる、次に足りない場合はF3から選ばれる

選び抜いた結果Fiで足りるようになれば、

混雑比較演算子を使って降順に

Fiの1番目から親集合Pt＋１の中で足りてない分だけ取り出す

* 1. Qt+1は（ウ）でできたPt＋１１を使い、①Pt+1から選択（selection）,②交叉手法(crossover)を使う、ビット反転（mutation）を使い生成される
  2. …(ア)〜（エ）を続ける,終了条件は①規定回数②解の進みがなくなったら

1. （the count of~）

一般的にF1〜Flまでのサイズ（集合ないの解の数）はFlになるにつれて大きくなるのでN個の解を得るために、Flでは混雑比較演算子<nを使って降順に解を選ぶ。

Crossover(交叉)、mutation(突然変異)などの解説

<https://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/japanese/crossover-mutation.php>