

不確定環境型遺伝的アルゴリズムとモンテカルロ法による
大規模な確率的ジョブショップ問題の近似解法

京都府立大・人間環境学部・環境情報学科 吉富 康成(Yasunari Yoshitomi)
Dept. of Environmental Information, Fac. of Human Environment
Kyoto Prefectural Univ.

1. 緒言

著者らは、確率計画問題の解法として、遺伝的アルゴリズム(GA)の環境(目的関数、制約条件)に確率変動を導入した手法(不確定環境型 GA)を提案した[1]。本法では、世代ごとに、目的関数、制約条件で定義される適応度関数を所与の確率分布に応じて変化させ、全世代を通じての個体の集合とその出現頻度を算出する。そして、まずこれにより、期待値最大の解が得られるかどうかの検討を行なった。その結果、選択方式として、適応度に比例して選択確率が高くなるルーレット戦略の下で、発生頻度が最も高い個体(解)を選べば、それが期待値最大を与える個体となることを実証した[1]。そして、本法を確率的画像圧縮問題へ適用し、その有効性を示した[1]。

次に、広範な応用展開が期待できる確率的スケジューリング問題にこの不確定環境型 GA を適用し、その有効性を示した[2-4]。

本報では、確率的ジョブショップ問題に不確定環境型 GA とモンテカルロ法をハイブリッドに用いる方法について検討した結果を報告する。

2. 不確定環境型 GA とモンテカルロ法のハイブリッド適用法

確率計画問題において、確率変数の変動に伴い解の目的関数値や制約条件が変動することを、GA においては、同じ個体の適応度が確率的変動を含んでいると考えることとする。この適応度の確率的変動を各世代の適応度関数を確率的に変動させることにより実現する。すなわち、GA の各世代の環境が不確定(確率的)であるとして取り扱う。そして、全世代を通じての個体の集合とその出現頻度を算出する。この方法を不確定環境型 GA と呼ぶこととし、以下に示す手順で計算を行う。

1) 初期集団の生成

2) 終了条件が満たされるまでループ

- (a)各確率変数に対して、その確率分布に従う乱数を用いて適応度関数(目的関数、制約条件)を確定

(b)適応度の計算

(c)選択,交叉,突然変異

- 3) 所定世代以降、最終世代までの各個体(解)の発生頻度を求める

不確定環境型 GA による確率計画問題の解法として、まず、期待値最大(または最小)の解を得ることを目標としてきた。このため、選択方式として、適応度に比例して選択確率が高くなるルーレット戦略を取り、所定世代以降、最終世代までの個体出現頻度を求め、高頻度個体に相当する解を近似最適解候補とする。

上記複数の近似最適解候補に対して、モンテカルロ法を用いて期待値の近似値を求め、その値が最大(または最小)となる解を近似最適解とする。

3. 対象とする問題

機械の処理所要時間を確率変数とした、以下のような一般的な確率的ジョブショップ問題(P)を対象とした。

- ・ひとつの機械は、同時に1つの仕事しか処理できない。
- ・機械における処理は中断できない。
- ・仕事ごとに、機械にかけられる順番が指定されている。
- ・各機械における処理は、ガントチャートに前詰めで配置される。
- ・機械の処理所要時間の変動は、各仕事ごとに所与の確率分布に従う。
- ・全ての仕事が完了する時間の期待値を最小にするような、各機械での各仕事の処理順番を決める。

4. 不確定環境型 GA の処理条件

各世代で、機械の処理所要時間を所定の確率分布に従う乱数を用いて確定させる。

各機械での仕事の処理順番を順序表現を用いて表し、その順序表現された遺伝子を全機械分並べて遺

伝子型個体とした。アクティブスケジュールを作成する Giffler と Thompson のアルゴリズム(GT)[5]を用いて、初期集団として、ランダムなアクティブスケジュールを発生させた。そして、適応度関数 f は、 $f = t_{max} / (T - t_{max})$ とした (t_{max} : 各仕事を単独で処理した場合の処理所要時間が最大となる仕事の処理所要時間, T : 全ての仕事の完了時間) とし、ルーレット戦略、後述する不確定環境型 GA 用のアルゴリズムによる交叉、各機械毎の 1 点突然変異を用いた。突然変異では、所定の個体数までセミアクティブスケジュールを発生させ、GT アルゴリズムを応用してアクティブスケジュールに変換した。

GT を GA の交叉に利用したアルゴリズム (GA/GT)[6]では、GT アルゴリズムを基に、(a)ランダム交叉、(b)前の世代のスケジュールにおける各処理完了時間を基にしたヒューリスティック交叉、を所定の割合で行なう。不確定環境型 GA の場合、前の世代の各処理完了時間は、その世代で発生した乱数に依存しており、GA における程の重要な量ではないと考えられる。そこで、不確定環境型 GA では、前の世代 1 世代だけでの各処理完了時間の代わりに、前の世代までの処理完了時間の各平均値を基にしたヒューリスティック交叉を行なう。

5 適用例

表 1 に示した 6 仕事, 6 機械のジョブショップ問題 [7]において、各機械の処理所要時間を確率変数とし、その確率分布を、それぞれ表 1 の処理所要時間を平均値とするような正規分布と仮定した。そして、その確率分布における変動係数 (= 標準偏差 / 平均値) を、(1)0, (2)0.1, (3)0.2, (4)0.3, の 4 通りの条件に設定した。そして、従来法として、(1)の条件においては、ガントチャートに投入する仕事の優先順位を最適にする問題を全ての場合 ($6! = 720$ とおり) において、全ての仕事の完了時間を求め、得られる最適解と本法との比較を行った。また、(2), (3), (4)の条件では、ガントチャートに投入する仕事の優先順位を最適にする問題を、モンテカルロ法を用いて全ての場合 ($6! = 720$ とおり) において、全ての仕事の完了時間平均値を 10 万回の計算で求め、得られる(近似)最適解と本法との比較を行なった。対象とする問題 P の場合、莫大な種類の実行可能解が発生することが予測されたため、全世代での発生頻度最大の解に限らず、全世代での発生頻度の上位 20 の解について、モンテカルロ法を用いて全ての仕事の完了時間平均値を求めた。GA の条件としては、1000 個体, 200 世代、ランダム交叉率を 0.5 とし、100 世代での予備実験を行ない、突然変異率、交叉率を決定した。そして、予備実験の結果、(1), (2), (3), (4)の各条件に対して、突然変異率、交叉率を各々、(1)0.3, 0.3, (2)0.5, 0.5, (3)0.4

仕事	機械 (処理所要時間)					
	1	2	3	4	5	6
1	3(1)	1(3)	2(6)	4(7)	6(3)	5(6)
2	2(8)	3(5)	5(10)	6(10)	1(10)	4(4)
3	3(5)	4(4)	6(8)	1(9)	2(1)	5(7)
4	2(5)	1(5)	3(5)	4(3)	5(8)	6(9)
5	3(9)	2(3)	5(5)	6(4)	1(3)	4(1)
6	2(3)	4(3)	6(9)	1(10)	5(4)	3(1)

表 1: 6 仕事, 6 機械のジョブショップ問題

, 0.4, (4)0.3, 0.2 で、本実験を行なった。

計算の収束状況を図 1 に、実験結果を表 2~5 に示す。ここで、解とは、各機械での仕事の処理順序を表す表現型の個体である。発生した解の種類は、変動係数、0.0, 0.1, 0.2, 0.3 の各条件で、57457, 97715, 80249, 60416 であった。また、従来法と本法の比較を表 6 に示す。ここで、最頻度法は、不確定環境型 GA での出現頻度最大の解での値、本法は、出現頻度上位 20 位までの解での全ての仕事の完了時間(平均)が最小の値を示す。本法における ()内の数字は、選ばれた解の出現頻度順位を示している。本法により、良好な近似最適解が得られた。上位解の中から、モンテカルロ法を用いて、全ての仕事の完了時間(平均)の最小のものを選ぶ方法が有効であった。

Makespan

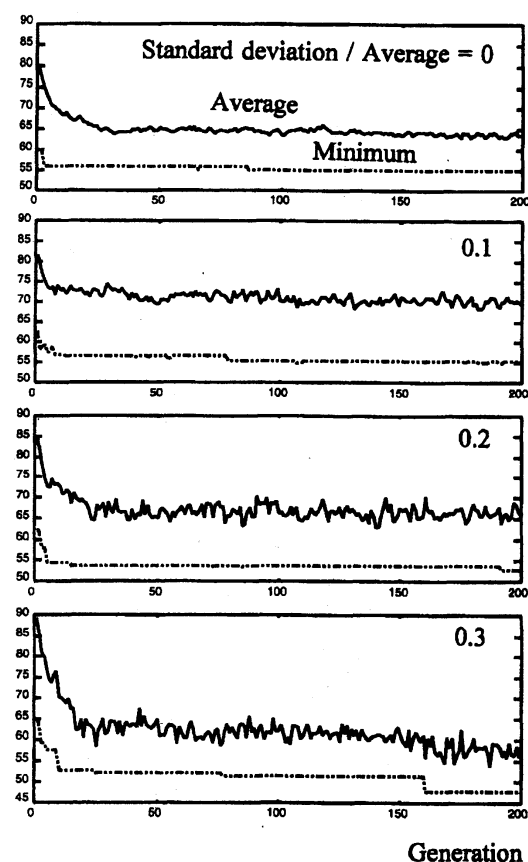


図 1 不確定環境型 GA での計算の収束状況

個体数	解	全ての仕事の 完了時間	個体数	解	全ての仕事の 完了時間平均値
49648	143625 246153 312546 361425 253416 362154	56	65352	143625 246513 315246 364125 245361 362514	61.59
39000	143625 246153 132546 364125 253461 362514	55	13685	143652 642513 315246 364152 524361 365214	61.19
888	143652 246153 132546 364152 254631 365214	58	867	143625 245613 351246 364125 254631 362154	62.88
316	134265 214536 312546 316425 253146 312654	60	561	146352 624153 513246 634152 254631 632514	62.86
226	143652 624513 351246 364152 524361 365214	59	160	146352 642513 135246 631452 526431 635214	61.18
144	416325 624513 532146 634125 245613 632154	59	98	143652 624513 315246 634152 524361 365124	64.58
112	415362 645213 534126 634512 542361 653421	64	65	134625 246135 312546 361425 235461 362154	59.80
110	143625 246153 312546 361425 235416 362154	59	64	134625 261453 315246 361425 251436 361254	62.48
108	413652 426513 351426 364152 523461 365124	60	61	416352 642513 531426 634152 524631 635124	62.90
106	431562 426531 351246 364512 523461 365214	59	57	143625 246153 132546 361425 254631 361254	60.25

表 2 : 出現頻度の上位解(変動係数 : 0)

個体数	解	全ての仕事の 完了時間平均値
19656	143625 246153 312546 364125 253416 362154	56.82
7893	134625 624135 132546 361452 235461 362514	60.31
184	416532 642513 351246 631542 521463 635124	60.81
173	146352 625413 513246 631452 524613 653214	61.03
142	413652 462513 351246 364152 524361 365214	59.45
138	146352 625413 513246 634152 524631 635214	60.16
131	413625 426513 315246 364125 235461 362154	60.23
123	413652 642513 531246 631452 523461 635214	62.56
121	461532 645213 534126 634512 524361 635214	61.45
93	134625 246153 312546 361425 253416 362154	58.48

表 3 : 出現頻度の上位解(変動係数 : 0.1)

表 4 : 出現頻度の上位解(変動係数 : 0.2)

個体数	解	全ての仕事の 完了時間平均値
36248	143562 645213 153426 634152 524361 635214	67.13
24703	146352 462513 153246 634152 526413 635214	64.54
24057	143265 426135 312456 316425 235416 321654	68.03
18984	416532 642513 531246 634152 526431 635214	63.61
4277	416325 462513 513246 634125 526431 632154	64.15
4227	143625 624513 135246 631452 523461 362514	66.21
513	413562 426153 315246 364152 523461 365214	68.63
437	143625 641253 135426 361452 251463 361254	70.35
421	146325 264153 153246 631425 524163 631254	68.39
375	143562 462513 135426 634152 542316 635214	70.98

表 5 : 出現頻度の上位解(変動係数 : 0.3)

変動係数 ;	0	0.1	0.2	0.3
従来法 ;	61	64.49	68.75	71.43
最頻度法 ;	56	56.82	61.59	67.13
本法 ;	55(2)	56.82(1)	59.80(7)	63.61(3)

表6 : 従来法と本法の比較
(全ての仕事の完了時間(平均))

Sun Blade 100 ワークステーションを用いた上記適用例の計算時間は、(1)の場合:425秒、(2)~(4)の場合:平均719秒であった。また、20の解についてモンテカルロ法で全ての仕事の完了時間平均値を求めるには255秒要した。従って、不確定環境型GAとモンテカルロ法の計算時間割合は、約74%、26%であった。

6. 結論

確率的ジョブショップ問題へ不確定環境型GAとモンテカルロ法のハイブリッド適用を検討し、その有効性を示した。今後、ハイブリッド化のための一般的指針を明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] Y. Yoshitomi, H. Ikenoue, T. Takeba and S. Tomita, "Genetic Algorithm in Uncertain Environments for Solving Stochastic Programming Problem", 日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌, 43(2000), 266-290.
- [2] 吉富康成, 山場久昭, 富田重幸, "不確定環境型GAの確率的スケジューリング問題への適用", 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, (1999), 202-203.
- [3] 吉富康成, "不確定環境型遺伝的アルゴリズムによる確率的ジョブショップ問題の解法", スケジューリング・シンポジウム'99 講演論文集, (1999), 119-124.
- [4] Y. Yoshitomi, "Genetic Algorithm Approach to Solving Stochastic Job-shop Scheduling Problems", Int. Trans. In Operational Research, 9(2002), 479-495.
- [5] B. Giffler and G.L. Thompson, "Algorithms for Solving Production Scheduling Problems", *Operations Research*, 8(1969), 487-503.
- [6] T. Yamada and R. Nakano, "A Genetic Algorithm Applicable to Large Scale Job-Shop Problems", *Parallel Problem Solving from Nature 2*, (1992), 281-290.
- [7] J. F. Muth and G. L. Thompson, *Industrial Scheduling*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.(1963), 226.