

探索中の良好な解と交叉を行うシミュレーテッドアニーリング におけるアーカイブ解の考察

Simulated Annealing with Archive-Based Crossover

三木光範*1 ○平岩健一郎*2 廣安知之*3
Mitsunori MIKI Kenichiro HIRAIWA Tomoyuki HIROYASU

*1同志社大学 *2同志社大学大学院 *2同志社大学
Doshisha University Doshisha University graduate school Doshisha University

Simulated Annealing(SA) is a heuristic algorithm which is effective for combinatorial optimization problem. However, in SA, the search history is not used for generating the next point. In this research, we propose simulated annealing with archive-based crossover(SA/AX), which utilizes previous solutions in search. Crossover of genetic algorithm(GA) is used for exchanging information between the current and previous solutions. Through the numerical experiments, the effectiveness of the proposed method was shown.

1. はじめに

シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing:SA) は、金属学のアニーリングを計算機上でシミュレートすることにより、エネルギーと呼ばれる目的関数値が最小となる状態 (大域的な最小状態) を見つける汎用最適化手法である。[1]

SA における探索では、現在の探索点の近傍内での解摂動により次状態を生成する。そしてそれが受理判定において受理された場合に探索点を次状態に推移させる。すなわち、SA の探索では探索に過去の探索履歴を用いていない。

しかしながら SA で探索した過去の解の中に、現在の解が失ってしまった良好な部分を有する解が存在する可能性がある。そのため、過去の解の中から良好なものをアーカイブ中に保存し、そのアーカイブ中の解と現在の探索点とが情報交換を行うことで、より優れた探索が可能になると考えられる。

本研究では、その情報交換の方法として遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) のオペレータである遺伝的交叉を用い、過去の探索点の中から良好な解を保存したアーカイブ中の解と、現時点で最も目的関数値の良い解 (最良解) との交叉を行うシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing with Archive-based Crossover:SA/AX) を提案し、代表的な組み合わせ最適化問題である巡回セールスマン問題 (TSP) およびジョブショップスケジューリング問題 (JSP) に対し、その有効性を検証する。

2. SA の過去の探索解における良好な部分解

最適化問題では、目的関数値だけでなく設計変数値も重要である。代表的な組合せ最適化問題である TSP を用い図 1 を例にとると、SA の過去の探索履歴において、同程度の目的関数値であっても、設計変数値の異なる局所解が存在すると考えられる。よって、SA の過去の探索履歴中の解が互いに異なる部分解を持っているとすれば、解間での情報交換により、設計変数の良好な部分解を集めることで、より良好な解探索を行うことができると考えられる。

本研究では、この情報交換の方法として GA のオペレータである遺伝的交叉を用い、過去の良好な探索点との交叉による情

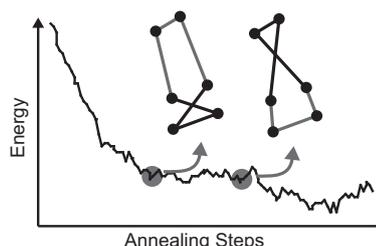


図 1: History of Energy in SA

報交換を行う SA (Simulated Annealing with Archive-based Crossover:SA/AX) を提案し、その有効性を検証する。

3. SA/AX のアルゴリズム

提案手法 SA/AX のアルゴリズムは以下の通りである。

1. 次状態生成
2. 受理判定
3. 状態推移
4. アーカイブへの追加
1~3 の処理を一定期間繰り返した後、一定周期の中で最も目的関数値の良いものをアーカイブとして選出する。これはある程度収束した局所解の方が良好な部分解を有している可能性が高いためである。
5. 交叉
一定周期ごとに過去の探索の中でアーカイブからランダムに選んだ解と最も目的関数値のよい解 (最良解) とを交叉させ、複数の解 (子個体) を生成する。
6. 現在の解への反映
親個体と、子個体の内、最も目的関数値の良いものを探索点とする。
7. クーリング
8. 1 に戻る。

4. 数値実験

4.1 SA における重要温度領域の存在

組合せ最適化問題に SA を適用した研究において、特定範囲の温度でのアニーリングが SA の解探索性能に大きく影響することが分かっており、TSP および JSP においても特定温度での一定温度探索が有効であることが分かっている [2][3][4]。本研究では、この特定範囲の温度を重要温度と呼び、以下の実験では予備実験により求めた適切な重要温度での一定温度探索を行うものとする。

4.2 SA との比較

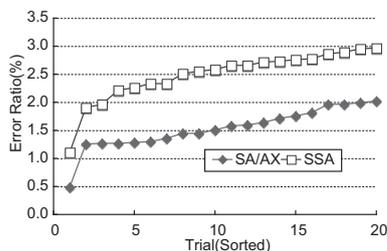
提案手法の有効性を検証するため、対象問題を TSP の rat575[5] および JSP の ft10[6] とし、通常の SA(Standard SA:SSA) との比較を行う。各対象問題のパラメータを表 1 に示す。交叉法として TSP は EXX[7]、JSP は inter-machine JOX[8] を用いる。

表 1: Parameters in SA/AX and SSA

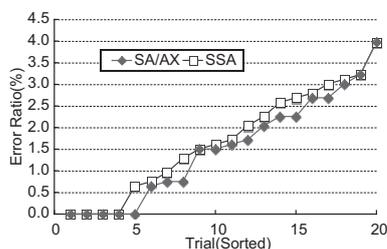
	SA/AX	SSA
Annealing Steps	32000	32000
Important Temperature [TSP/JSP]	3/15	3/15
Crossover Steps	100	NA
Children Num	32	NA

(NA=Not Available)

結果は 20 試行を誤差率の昇順にソートして並べ比較するものとする。結果を図 2 に示す。



(a) TSP(rat575)



(b) JSP(ft10)

図 2: Two methods (Sorted by error ratio)

図 2(a) および図 2(b) から、どちらの対象問題に対しても SSA に比べ提案手法が有効であることが分かった。しかし、図 2(a) の結果に比べ、図 2(b) では二つの手法に大きな性能の違いが見られなかった。その理由は、提案手法に有効な交叉法ではなかったためと思われる。inter-machine JOX では最良解に集められた部分解を多様性の維持のため、確率的に半分ずつ 2 つの子個体に分散させてしまう。そのため最良解に集められた良好な部分解を失う可能性が高い上に、それまでに作られていたクリティカルパスを破壊してしまうため、良好な子個体を生成するのは容易でない。

一方、図 2(a) において、提案手法が有効に働いたのが本当に交叉によるものなのかどうかを確かめるために、実際の探索

で交叉した 2 つの解とその子個体について詳しく見てみることにする。対象問題は TSP の eil51[5] とする。以下の図 3 に実際に交叉した 2 つの交叉後の解を示す。図 3 において、実線が最適解と一致してる枝、点線はその他の枝を示している。

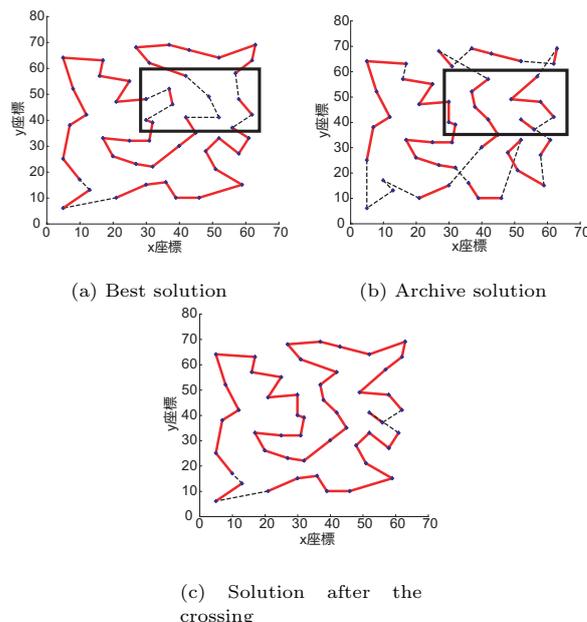


図 3: Two solutions

図 3(a) において最適解と一致してる枝の数は 42、図 3(b) では 36、図 3(c) では 47 となっている。図 3(a) の四角枠の部分には部分解が存在しないのに対し、図 3(b) には部分解が存在する。図 3(c) より、これらが交叉によって一つの解に集められ、より良好な解が生成できていることを確認できた。以上より過去の解と交叉を行うことは有効である。

4.3 今後の課題

今後の課題として、提案手法 SA/AX の概念である良好な部分解を組み合わせて良好な解を得るという目的に合った交叉法を見つける必要があると考える。それには GA において母集団の多様性維持を行う傾向が高い交叉法よりも、個体間の部分解を組み合わせる可能性が高い交叉法が望ましい。

また、現在のアルゴリズムではアーカイブ中から交叉させる解をランダムに選んでいるため、より良好な解が得られるような解をアーカイブから選び出す仕組みを考える必要がある。

参考文献

- [1] Kirkpatrick, S., Gelett Jr.C.D., Vecchi, M.P. Optimization by Simulated Annealing. Science, 1983.
- [2] Mark Fielding. Simulated annealing with an optimal fixed temperature. 2000.
- [3] D.T. Connolly. An improved scheme for the qap. EJOR, Vol.46, pp.93-100, 1990.
- [4] 三木光範, 廣安知之, 吉田武史, 輪湖純也. 適応的温度調節メカニズムを持つ並列 SA. 情報処理学会論文誌 Vol. 41, No. 6, 2000.
- [5] Tsplib. Technical report. <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>.
- [6] CS410/510SS Project Job Shop Scheduling. <http://web.cecs.pdx.edu/~bart/cs510ss/project/jobshop/jobshop/>.
- [7] 遺伝的アルゴリズムによる巡回セールスマン問題の一解法, 計測自動制御学会誌論文集, Vol.31, No.5, pp.598-605(1995)
- [8] 山田武士, Bruce E. Rosen, 中野良平. クリティカルブロックシミュレーテッドアニーリング法によるジョブショップスケジューリング問題の解法. 電気学会論文誌, 1994. size