

1L-1

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

三木 光範[†] 廣安 知之[†] 平岩 健一郎^{††}

[†]同志社大学工学部 ^{††}同志社大学工学部学生

1 はじめに

シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing:SA) は、熱力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 では近傍内での解摂動により次状態を生成し、それが受理判定において受理された場合、現在の解を次状態に遷移させる。すなわち、SA 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として保存し、そのアーカイブと現在の解との情報交換を行うことにより、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 Algorithms:GA) における交叉を用い、過去の探索点の中から良好な解を保存したアーカイブの中の解と、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、その有効性を検証する。

2 交叉による過去の探索点との情報交換

組合せ最適化問題では、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巡回セールスマン問題 (TSP) を例にとると、図 1 のように、同程度の目的関数値であっても、設計変数値の異なる解が存在すると考えられる。

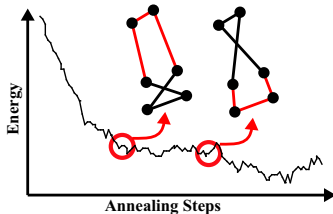


図 1: 探索履歴

Simulated Annealing with Archived based Crossover

[†] Mitsunori MIKI(mmiki@mail.doshisha.ac.jp)

[†] Tomoyuki HIROYASU(tomo@is.doshisha.ac.jp)

^{††} Kenichiro HIRAIWA(khiraiwa@mikilab.doshisha.ac.jp)

Department of Knowledge Engineering and Computer Science, Doshisha University ([†])

Undergraduate Student, Doshisha University (^{††})

1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

実際に対象問題として eil51[2] に対し、通常の SA を適用した結果、探索履歴中に図 2 のような 2 つの目的関数値の等しい解が見つかった。

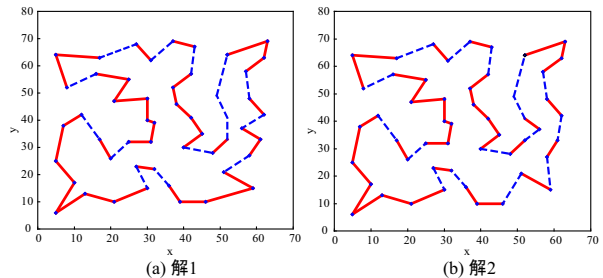


図 2: 探索履歴中の目的関数値の等しい 2 つの解

図 2 において、実線は最適解と等しい枝、点線は最適解と異なる枝を示している。これを見ると目的関数値が等しくても、異なる部分解を持つ解が存在することがわかる。

以上より、異なる部分解を持つ解間での情報交換により、設計変数の良好な部分を集めることで、より良好な解を作る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 の交叉を用い、過去の良好な探索点との交叉による情報交換を行う SA(Simulated Annealing with Archive based Crossover:SA/AX) を提案し、その有効性を検証する。なお、対象問題は TSP とする。

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. 状態遷移
4. アーカイブへの追加

上記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。

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

親と、子個体内、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

4 数値実験

本研究では、TSP に対応した交叉法として枝交換法 (EXX)[3] を用いる。これは親同士の枝を交換する交叉法である。

4.1 SA における重要温度の存在

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いる。[4][5] 本研究では、この特定範囲の温度を重要温度と呼ぶことにする。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。

4.2 交叉開始時期の検討

交叉開始時期とは、総探索数を 1 としたとき、交叉を始める探索数の比率を表すパラメータである。具体的には、交叉開始時期までは通常の SA を行い、それをすぎると一定周期で交叉を行うことを示す。lin318[2] を対象問題とし、交叉開始時期を探索開始直後、1/4 後、2/4 後、3/4 後とした比較実験の結果を図 3 に示す。横軸、縦軸はそれぞれ試行数、最適解との誤差率とした。実験で用いたパラメータを表 1 に示す。またパラメータは予備実験で求めた最適な値である。

表 1: SA/AX のパラメータ

クーリング周期	都市数 × 20
総アニーリング数	クーリング周期 × 32
交叉回数	512
子数	64
アーカイブ数	交叉回数 × 4
試行回数	20

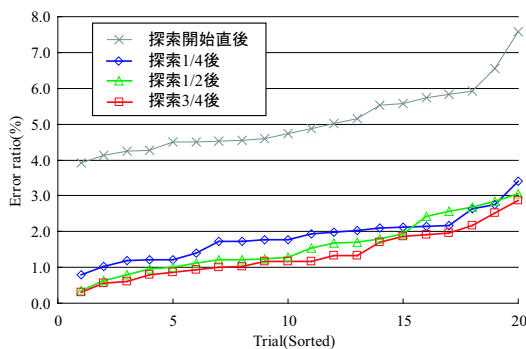


図 3: 各試行をソートした図

図 3 より交叉開始時期が遅くなるに従ってよい結果となることがわかる。これは早期からの交叉を行ってしまうと、解が早期収束を起こし、アーカイブから

多様性が失われてしまうためと考えられる。また、現在の解がまだ収束していないため、解に悪影響を及ぼす可能性がある。以降は交叉開始時期は探索 3/4 後とする。

4.3 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 eil101, kroA200, lin318, pr439, rat575 および d657[2] とし SA との比較実験を行う。各対象問題の重要温度を表 2 に示す。他のパラメータは表 1 を用いた。またパラメータは予備実験で求めた最適な値である。

表 2: 重要温度

TSP	SA/AX	SA
eil101	2	2
kroA200	70	40
lin318	85	30
pr439	150	80
rat75	5	3
d657	30	20

通常の SA との比較実験の結果を図 4 に示す。

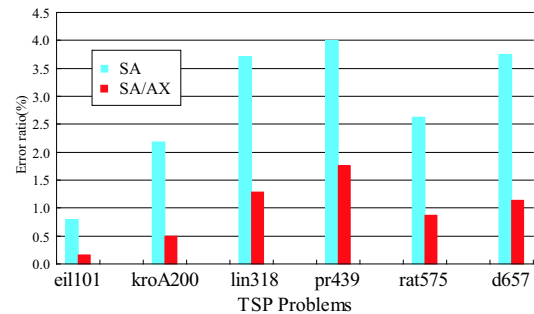


図 4: 各対象問題における比較

図 4 より全ての問題において提案手法が最も良い性能を示した。

また、表 2 が示しているとおおり、通常の SA に比べて交叉を取り入れることにより重要温度が上昇している。これは温度が上がると改悪の可能性が増加し、アーカイブに保存した解がより多様になることから、交叉によって多様な枝が得られやすいためだと思われる。それについての検討は今後の課題である。

参考文献

- [1] Kirkpatrick, S., Gelett Jr.C.D., Vecchi, M.P.Optimization by Simulated Annealing. Science,1983.
- [2] Tsplib. Technical report. <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>.
- [3] 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)
- [4] D.T.Connolly.An improved scheme for the qap. EJOR, Vol.46, pp.93-100, 1990.
- [5] Mark Fielding. Simulated annealing with an optimal fixed temperature. 2000.