

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：27401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330265

研究課題名(和文) 遺伝子に量子ビット表現を用いた進化計算による順列最適化

研究課題名(英文) Optimization in Permutation Spaces by Evolutionary Computation Representing Genes as Quantum Bits

研究代表者

飯村 伊智郎 (IIMURA, Ichiro)

熊本県立大学・総合管理学部・教授

研究者番号：50347697

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、量子力学的原理や量子ビットを模倣した進化的アルゴリズムが提案されている。その一つに、量子風進化的アルゴリズムがある。量子風進化的アルゴリズムで用いられる量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法を用いることで、整数型の遺伝子を表現することができる。しかしながら、整数型遺伝子表現法を用いても、単純には順列を扱うことができない。本研究では、量子ビット表現を用いても順列を取り扱うことが可能な表現法を提案した。計算機を用いたシミュレーション実験において、提案した遺伝子表現法を、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に適用できることを示した。また、提案した遺伝子表現法の特徴を示した。

研究成果の概要(英文)：Recently, some evolutionary algorithms, which imitated quantum-mechanical principles and a quantum bit, have been proposed. The quantum-inspired evolutionary algorithm is one of these algorithms. The integer-type gene-coding method based on the qubit representation, which is used in the quantum-inspired evolutionary algorithm, can represent an integer-type gene. However, the integer-type gene-coding method cannot deal with permutations simply. This study proposed a novel gene-coding method based on the qubit representation that can represent a permutation. In the simulation experiments using computers, this study showed that the proposed gene-coding method can be applied to the traveling salesman problem which is a typical combinatorial optimization problem. This study also showed the features of the proposed gene-coding method.

研究分野：知能情報学

キーワード：ソフトコンピューティング 人工知能 アルゴリズム 情報工学 進化計算 計算知能 量子ビット表現 順列最適化

1. 研究開始当初の背景

大規模な組合せ最適化問題は、実用時間で解くことが困難であることが知られているが、現実世界を考えた場合、必ずしも厳密な最適解ではなく近似解でも十分なケースも多い。そこで、近似解(準最適解)を高速に求める解法の研究が進められている。その解法の一つとして、量子力学的原理や量子ビットを模倣し、進化計算と融合した新たな確率的な最適化アルゴリズムが近年研究されている。Narayananらは、従来の遺伝的アルゴリズム(Classical Genetic Algorithm: CGA)に、量子系の干渉効果を模倣する干渉交叉を導入した Quantum-inspired Genetic Algorithm (QGA)を提案し、巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem: TSP)を対象とした実験でその効果を示した。一方、Hanらは、量子ビットを模倣した遺伝子表現(以下、“量子ビット表現”と呼ぶ)を用いた Quantum-inspired Evolutionary Algorithm (QEA)を提案している。CGAとは異なり、QEAでは量子ビット表現を遺伝子に用い、ユニタリ変換で進化を繰り返すことで、CGAよりも少ない個体で、より短時間で解を発見できることが、0-1 ナップザック問題(0-1 Knapsack Problem: 0-1KP)を対象とした実験で確認されている。さらに、Draaらは、Nクイーン問題(N Queens Problem: NQP)のチェスボードの升目に量子ビット表現を用いることで、CGAよりも優れた探索性能を示すことを確認している。

このような背景のもと、研究代表者らはこれまでに、Narayananらの干渉交叉に関する研究を補強すべく様々な実験を行い、量子系の干渉効果を模倣した干渉交叉の有効性を示し、量子力学的原理を模倣した交叉法と進化計算とが融合した組合せ最適化アルゴリズムについて研究してきた。さらに、研究代表者らは、HanらやDraaらの量子ビット表現について、量子ビットの観測結果として得られる値は“0”または“1”であるというその性質上、バイナリ型の遺伝子のみしか取り扱うことができない点に焦点を当て、遺伝子に量子ビット表現を用いても整数型の遺伝子を必要とする組合せ最適化問題を解くことを可能にする「量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法」を新たに提案し、整数ナップザック問題(Integer Knapsack Problem: IKP)を対象とした実験でその有効性を明らかにした。ところで、順列を解とする組合せ最適化問題は我々の社会に数多く存在しているが、遺伝子に量子ビット表現を用いた場合、その性質上、順列を解とする組合せ最適化問題を容易に取り扱うことができず、順列最適化に関する先行研究はほとんど見られない。また研究代表者らが先行研究で提案した量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法では、整数型の遺伝子を必要とする組合せ最適化問題を解くことが可能となり、量子ビット表現の適用範囲の拡大を達成したが、

量子ビットの観測後に得られる整数値が異なる遺伝子座で同じ値になるケースがあり、その整数値が例えば順列を解とするTSPの都市番号とした場合、同じ都市を二度訪問してしまう致死遺伝子が生成される可能性を意味し、この点に限界がある。

2. 研究の目的

本研究では、HanらやDraaらの量子ビット表現の適用範囲を広げるべく、その表現法を拡張し、研究代表者らの先行研究での成果を踏まえてさらに発展させ、量子ビット表現を用いても順列を解とする組合せ最適化問題の取り扱いを可能にする遺伝子表現法を提案する。さらに、順列を解とする具体的な組合せ最適化問題に適用し、計算機実験を通して、提案する遺伝子表現法の特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は3年計画で行った。

平成25年度(初年度)から平成26年度にかけて、研究代表者らの先行研究の成果を踏まえ、量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法における二つの順列解釈法を提案し、順列最適化問題の一つであるTSPを対象とした評価実験を行った。図1および図2は、提案した二つの順列解釈法を、TSPを例に示している。実験の結果、比較的小さな規模のTSPではあるが、量子ビット表現を用いても、最適解を発見できることを明らかにした。

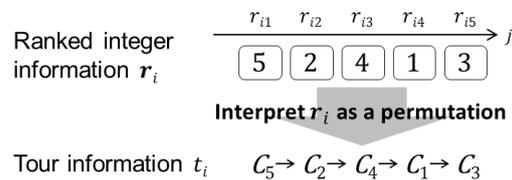


図1 整数型遺伝子表現法を用いることで得られた整数値を基数と解釈した順列解釈法(TSPの例であり、 C_x は都市xを意味する.)

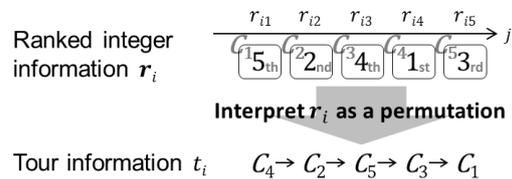


図2 整数型遺伝子表現法を用いることで得られた整数値を序数と解釈した順列解釈法(TSPの例であり、 C_x は都市xを意味する.)

しかしながら、整数型遺伝子表現法における順列解釈法は、順列最適化に適した遺伝子表現法であるとはいえ、探索性能の面においてさらなる研究の余地があった。そこで、量子ビット表現を用いても順列最適化を可能とする、より適切な遺伝子表現法を再検討

し、平成 26 年度末に、図 3 に示す新たな遺伝子表現法を提案した。各都市および各経路に量子ビットを割り当てた提案手法は、順列により適した遺伝子表現法であり、さらに順方向と逆方向の巡回路情報を最良解情報として保持することで、TSP の近似解法の一つである k-0pt 法と同様の局所改善効果が期待された。

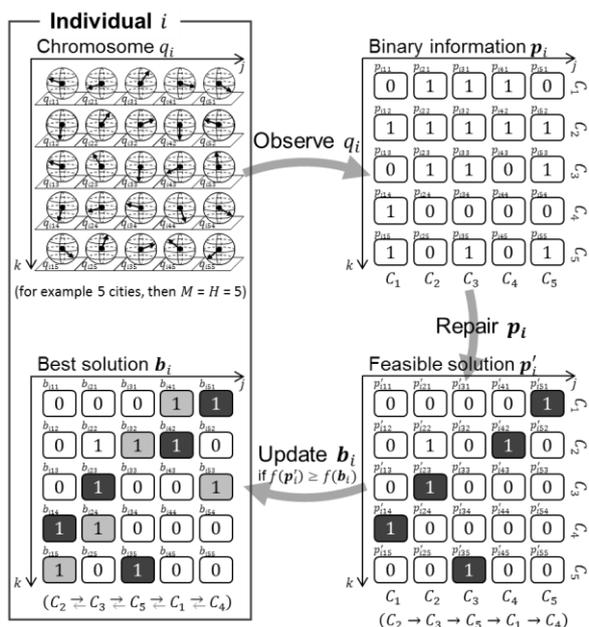


図 3 順列を取り扱うことができる量子ビット表現に基づく遺伝子表現法 (TSP の例であり、 C_x は都市 x を意味する.)

平成 27 年度 (最終年度) には、提案手法の k-0pt 的な局所改善効果を確認するための追加実験を行った。追加実験の結果、提案する遺伝子表現法を用いることで k-0pt 的改善頻度が高まり、より効率的に解を探索できていることが確認できた。また、解探索の序盤では繋ぎ直された経路数の多い k-0pt 的改善が多く、解探索が進むにつれて、繋ぎ直された経路数の少ない、局所的な解の改善へと移行することが分かった。

4. 研究成果

(1) 量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法における二つの順列解釈法の提案

QEA および QEA based on Pair Swap (QEAPS) に、整数型遺伝子表現法における順列解釈法を用いる場合、整数値の並びを基数と解釈するよりも、序数と解釈した方が、解の探索で得られた優れた都市の並び (building block) を適切に保持でき、解を優位に探索できることが分かった。

上記成果に関しては、国内学会で 5 件 (情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム 2015, 2014 年度情報文化学会九州支部研究会, 平成 26 年度 (第 67 回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会, 情報処理学会九州支部 2014 年度若手の会セミナー, 2013 年度

情報文化学会九州支部研究会), 国際学会で 1 件 (学会名等: 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2015)) の報告を行った。さらに、学術論文 (査読有) を 1 件 (雑誌名: Journal of Signal Processing) まとめた。

(2) 順列を取り扱える量子ビット表現に基づく新たな遺伝子表現法の提案

k-0pt 的な局所改善効果を有する新たな遺伝子表現法を提案し、その効果を検証した。実験の結果、提案手法は順列により適した遺伝子表現法であり、最良解として両周りの巡回路情報を同時に保持することができ、また、両周りの巡回路情報は一部都市訪問順が反転した新たな解の生成に役立ち、k-0pt 法と同様の解改善効果が得られることが確認できた。

上記成果に関しては、国内学会で 3 件 (学会名等: 2015 年度情報文化学会九州支部研究会, 平成 27 年度 (第 68 回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会, 電気学会九州支部平成 26 年度 (第 5 回) 高専研究講演会) の報告を行った。さらに、学術論文 (査読有) を 1 件 (雑誌名: 人工知能学会論文誌) まとめた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① 森山賀文, 飯村伊智郎, 大野友嗣, 中山茂: "k-0pt 法的局所改善による量子ビット遺伝子表現法を用いた順列最適化", 人工知能学会論文誌, Vol. 31, No. 6 (2016). (掲載決定) (査読有)

② Yoshifumi Moriyama, Ichiro Iimura, Tomotsugu Ohno, and Shigeru Nakayama: "An Experimental Study on Optimization in Permutation Spaces by Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm Using Quantum Bit Representation", Journal of Signal Processing, Vol. 19, No. 6, pp. 227-234 (2015. 11). (査読有)
DOI: 10.2299/jsp.19.227

[学会発表] (計 9 件)

① 森山賀文, 飯村伊智郎, 大野友嗣, 中山茂: "順列空間における k-0pt 法的局所改善機能を有する量子ビット遺伝子表現法", 2015 年度情報文化学会九州支部研究会, 3-0P-A5 (2016. 02. 11), 鹿児島工業高等専門学校 (鹿児島県・霧島市) .

② 森山賀文, 飯村伊智郎, 大野友嗣, 中

山茂：“順列最適化のための量子ビット表現に基づく遺伝子表現法の提案”，平成27年度（第68回）電気・情報関係学会九州支部連合大会，10-2A-01，p.331（2015.09.27），福岡大学（福岡県・福岡市）。

- ③ 大野友嗣，森山賀文，飯村伊智郎，中山茂：“順列解を取り扱える量子ビット表現に基づく遺伝子表現法の提案”，電気学会九州支部平成26年度（第5回）高専研究講演会，C1，pp.59-60（2015.03.07），鹿児島工業高等専門学校（鹿児島県・霧島市）。
- ④ 森山賀文，飯村伊智郎，大野友嗣，中山茂：“量子ビット表現に基づく整数型遺伝子における順列解釈法に関する探索性能分析”，情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム2015，1A-1（2015.03.05），佐賀大学（佐賀県・佐賀市）。
- ⑤ Yoshifumi Moriyama，Ichiro Iimura，Tomotsugu Ohno，and Shigeru Nakayama：“A Basic Study on Optimization in Permutation Spaces by Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm Using Quantum Bit Representation: A Case for Traveling Salesman Problem”，The 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2015)，28AM2-3-3，pp.114-117，（2015.02.28），Kuala Lumpur (Malaysia)。
- ⑥ 森山賀文，飯村伊智郎，大野友嗣，中山茂：“量子ビット表現法における整数型遺伝子の順列解釈法の違いによる探索性能分析”，2014年度情報文化学会九州支部研究会，3-0P-A6（2015.02.11），熊本県立大学（熊本県・熊本市）。
- ⑦ 森山賀文，飯村伊智郎，大野友嗣，中山茂：“量子ビット表現を用いた Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm による順列最適化に関する一考察”，平成26年度（第67回）電気・情報関係学会九州支部連合大会，09-2P-03，pp.533-534（2014.09.19），鹿児島大学（鹿児島県・鹿児島市）。
- ⑧ 森山賀文，飯村伊智郎，大野友嗣，中山茂：“量子ビット表現を用いた Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm による順列最適化に関する基礎研究”，情報処理学会九州支部2014年度若手の会セミナー，セッション1-1（2014.09.08），玄海ロイヤルホテル（福

岡県・宗像市）。

- ⑨ 森山賀文，飯村伊智郎，中山茂：“量子ビット表現に基づく整数型遺伝子を用いた順列最適化の試み”，2013年度情報文化学会九州支部研究会，3-0P5（2014.02.11），鹿児島工業高等専門学校（鹿児島県・霧島市）。

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~ilab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯村 伊智郎 (IIMURA, Ichiro)
熊本県立大学・総合管理学部・教授
研究者番号：50347697

(2) 研究分担者

森山 賀文 (MORIYAMA, Yoshifumi)
有明工業高等専門学校・准教授
研究者番号：10413866

(3) 研究協力者

中山 茂 (NAKAYAMA, Shigeru)
大野 友嗣 (OHNO, Tomotsugu)