

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月18日現在

機関番号：27401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500137

研究課題名（和文） 量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法を用いた進化計算

研究課題名（英文） Evolutionary Computation Using Integer-Type Gene-Coding Method Based on Quantum Bit Representation

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

研究成果の概要（和文）：量子風進化的アルゴリズムで用いられる従来の量子ビット表現に基づく遺伝子表現法は、バイナリ型の遺伝子のみしか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整数型の遺伝子表現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、提案した整数型遺伝子表現法を、代表的な組合せ最適化問題である整数ナップザック問題に適用できることを示した。また、提案した整数型遺伝子表現法の特徴を示した。

研究成果の概要（英文）：The conventional binary-type gene-coding method based on the quantum bit representation, which is used in quantum-inspired evolutionary algorithm, can deal with only a gene of the binary type. This research proposed a novel gene-coding method that can represent an integer-type gene. In the simulation experiments using computers, this research showed that the proposed integer-type gene-coding method can be applied to integer knapsack problem which is a typical combinatorial optimization problem. This research also showed the features of the proposed integer-type gene-coding method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：進化計算, 量子ビット表現, 整数型遺伝子, 量子風進化的アルゴリズム, 対交換, QEA, QEAPS, ナップザック問題

## 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組合せ探索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した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 では量子ビットを模倣した表現 (以下、“量子ビット表現”と呼ぶ) 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、ナップザック問題 (Knapsack Problem: KP) 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探索アルゴリズムについて研究してきた。一方、Han らや Draa らの量子ビット表現に基づくバイナリ型遺伝子表現については、その特徴や効果をより詳細に分析した先行研究が少なく、また彼らの遺伝子表現では、バイナリ型の遺伝子のみしか扱うことができない点に問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、前述した Han らの量子ビット表現に基づくバイナリ型遺伝子表現法の適用範囲を広げるべく、その表現法を拡張し、量子ビット表現を用いても整数型の遺伝子表現を可能とする表現法を提案する。さらに、整数型の遺伝子表現を必要とする組合せ最適化問題に適用し、計算機実験を通して、提案する整数型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。

### (1) 2010 年度 (初年度)

Han らによる量子ビット表現に基づく遺伝子表現を拡張し、整数型遺伝子表現を可能と

する遺伝子表現法について検討した。図1は、従来の量子ビット表現に基づく遺伝子表現を、整数型の遺伝子表現できるように拡張するためのアイデアの一例である。同図では、一つの遺伝子座に複数の量子ビットを割当て、観測結果である0と1の並びを正準グレイコード (Canonical Gray Code: CGC) と解釈して整数値にデコードすることで、量子ビット表現に基づく遺伝子表現を整数にまで拡張している。極めてシンプルな表現法ではあるが、初年度はこのアイデアを QEA および QEA based on Pair Swap (QEAPS) に実装し、遺伝子を整数表現する必要のある組合せ最適化問題として一次元の整数ナップザック問題 (Integer Knapsack Problem: IKP) を対象に評価実験を行った。

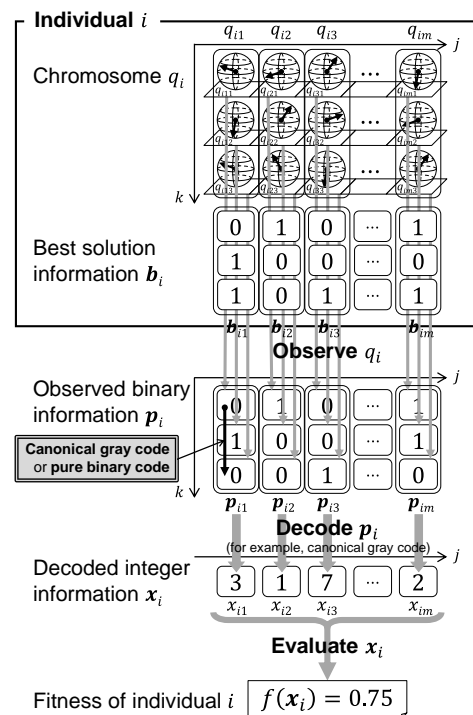


図1 量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法を用いた QEA および QEAPS における個体表現 (例えば、IKP の場合)

### (2) 2011 年度

前年度に提案した量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法について、その特徴を明らかにすべく、様々な一次元の IKP を対象として、詳細に計算機実験を行い、その探索性能を分析・評価した。さらに、整数型の遺伝子として通常扱われる IKP を 0-1KP に変換することでバイナリ型の遺伝子としての取扱いを可能とし、IKP をバイナリ型遺伝子で表現した場合についても同様の計算機実験を行った。また、実験に用いた IKP の問題インスタンスとしては、荷物の重量と価値の相関に着目した三種類のクラス (重量と価値

の間に相関がないクラス, 重量と価値の間に弱い相関があるクラス, 重量と価値の間に強い相関があるクラス) を用いた.

### (3) 2012 年度 (最終年度)

提案した量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法について, その特徴を明らかにすべく, 観測後ビット列の復号処理の違いにおける探索性能を分析・評価するため, 前年度と同様の IKP を対象として, 詳細に計算機実験を行った. つまり, 前年度までは観測後ビット列を CGC として解釈し整数値を得ていたが, 今年度は観測後ビット列を純バイナリコード (Pure Binary Code: PBC) として解釈した場合について評価した.

## 4. 研究成果

### (1) 量子ビット表現に基づく新たな整数型遺伝子表現法の提案

提案した整数型遺伝子表現法を QEA および QEAPS に実装し, 一次元の IKP を対象とした計算機実験の結果, 提案した整数型遺伝子表現法を用いることで, 量子ビット表現の性質上, 扱うことのできなかつた整数値を遺伝子とする組合せ最適化問題の一つである IKP を解くことが可能であることを確認した.

上記成果に関しては, 国内学会で 1 件 (学会等名: 電子情報通信学会 2011 年総合大会) の報告を行った.

### (2) 提案した量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法の特徴の明確化

QEA および QEAPS に, 整数型遺伝子表現法を用いる場合, 観測後ビット列の復号処理として, CGC と見做して解釈するよりも PBC と見做して解釈する方がより適していることを確認した. また, 観測後ビット列を PBC として解釈する量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法は, 整数型の遺伝子として通常取扱われる IKP を 0-1KP に変換しバイナリ型の遺伝子として扱うバイナリ型遺伝子表現法や, 観測後ビット列を CGC と見做して解釈する整数型遺伝子表現法に比べ, 短時間で同等以上の優れた解を発見可能な表現法であることを確認した. しかしながら, 重量と価値の間に弱い相関がある問題クラスの最適解発見率については, 他の問題クラスと状況を異にする結果となったため, この点についてはより詳細に分析する必要があることを確認した.

上記成果に関しては, 国内学会で 4 件 (学会等名: 第 10 回情報科学技術フォーラム, 電気関係学会九州支部連合大会第 64 回連合大会, 情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム 2012, 2012 年度情報文化学会九州

支部研究会), 国際会議で 1 件 (学会等名: The 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2012)) 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.

## 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 1 件)

- ① Ichiro Iimura, Yoshifumi Moriyama, and Shigeru Nakayama: "Integer-Type Gene-Coding Method Based on Quantum Bit Representation in Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm: Application to Integer Knapsack Problem", Journal of Signal Processing, Vol.16, No. 6, pp. 495-502 (2012. 11). (査読有) DOI: 10.2299/jsp.16.495.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 飯村伊智郎, 森山賀文, 中山茂: "量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法を用いた QEA の整数ナップザック問題における探索性能分析", 2012 年度情報文化学会九州支部研究会, 3-OP7 (2013. 02), 熊本県立大学 (熊本県) .
- ② 飯村伊智郎, 森山賀文, 中山茂: "整数ナップザック問題における量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法を用いた Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm の探索性能評価", 情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム 2012 講演論文集, B-2-2 (2012. 03), 九州工業大学 (福岡県) .
- ③ Ichiro Iimura, Yoshifumi Moriyama, and Shigeru Nakayama: "A Basic Study on Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm Using Integer Type Gene Coding Method Based on Quantum Bit Representation", in Proceedings of the 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2012), 6AM1-2-4, pp. 543-546 (2012. 03), Waikiki Beach Marriott Resort & Spa (Honolulu, Hawaii, USA).
- ④ 飯村伊智郎, 森山賀文, 中山茂:

”Quantum-Inspired Evolutionary Algorithmにおける量子ビット表現に基づく整数型遺伝子表現法の基礎検討”, 電気関係学会九州支部連合大会第64回連合大会講演論文集, 08-1A-01, pp. 60-61 (2011.09), 佐賀大学 (佐賀県) .

- ⑤ 飯村伊智郎, 森山賀文, 中山茂: ”整数ナップザック問題を対象とした Quantum-Inspired Evolutionary Algorithmの基礎検討”, 第10回情報科学技術フォーラム(FIT2011)講演論文集, 第1分冊, 5A-5, A-027, pp. 219-220 (2011.09), 函館大学・函館短期大学 (北海道) .
- ⑥ 飯村伊智郎, 森山賀文, 中山茂: ”量子ビット表現に基づく整数型遺伝子を用いた Quantum-inspired Evolutionary Algorithmの提案”, 電子情報通信学会2011年総合大会講演論文集, D-8-11, p. 72 (2011.03), 東京都市大学 (東京都) .

[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