

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650119

研究課題名(和文)量子情報処理による物体認識技術の開発

研究課題名(英文)Development of Object Recognition Technique using Quantum Information Processing

研究代表者

的場 修 (MATOBA, OSAMU)

神戸大学・システム情報学研究科・教授

研究者番号：20282593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では画像やムービーなどの非直交性の非構造化データに対して高速に認識を行う、量子物体認識アルゴリズムについて大規模画像群での有効性を検証した。量子物体認識では、量子エンタングルメントと量子重ね合わせ状態を利用して大規模データの高速処理が可能になる。大規模画像群での認識を実行するため、特徴画像の自動抽出化としてSURF(Speeded Up Robust Features)とk-means法を採用した。大規模画像群として1001枚の画像を用意した。各画像に対して4つの特徴画像を抽出した。その結果、認識すべき対象の観測確率が0.92となり、高い認識能力を有することを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we evaluated the effectiveness of the quantum object recognition algorithm to a large number of objects such as digital picture and digital movie that are unstructured and non-orthogonal data. In the developed quantum object recognition algorithm, quantum entanglement and quantum superposition are used to process the data with very high speed. To apply the developed algorithm to a large number of objects, a method of automatic feature extraction using SURF (Speeded Up Robust Features) and k-means is developed. As a large number of objects, 1,001 images such as alphabet are used. Four featured images to each original image are extracted. As a result, average probability amplitude of the detection of the correct image is 0.92. We confirmed that the developed algorithm has high recognition capability to a large number of objects.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：量子情報処理 物体認識 非構造化データ

1. 研究開始当初の背景

量子情報処理は量子力学の原理に基づく新しい信号処理であり、量子重ね合せ状態と量子エンタングルメント状態の2つの量子力学での重要な性質を利用してデータ処理を行う。これら2つの性質をうまく利用することで、特定の計算において、現在のコンピュータが行う計算よりも高速に処理できると期待されている。しかしながら、1994年のShorの素因数分解アルゴリズムや1996年のGroverの検索アルゴリズム以外に、量子的な性質を利用した信号処理や認識への応用はあまり提案されていない。一方、ハードウェアに関しても分子を利用して8量子ビットが実験的に行われるなどしているが、大規模情報処理を行える程の量子ビット数を実現するには、何段ものブレークスルーが必要になる。ハードウェア開発を加速させるためには、量子情報処理によるキラープリケーションの開発が重要である。

近年、デジタル情報端末の急速な進展により、静止画や動画などの非構造化データが増え、それらを情報検索する技術開発が求められている。これまでに画像認識に関する研究は数多く行われており、移動不変、回転不変、スケール不変などの画像認識フィルタや多物体認識フィルタなどが提案されている。大規模な数の非構造化データに対して高速に情報検索するためには、SIMD (Single Instruction Multiple Data)型並列処理が有効である。大規模SIMD型並列処理を行う一つの方法に、量子重ね合わせ状態を用いる量子情報処理がある。

2. 研究の目的

本申請研究では、現在のデジタル情報社会で急増する非構造化データを高速に検索する手法を開発するために、量子情報処理に基づく物体認識技術の研究開発を行う。

近年、デジタル情報端末の急速な進展により高画質2次元デジタル映像やステレオ視による3次元物体情報が益々増加している。これらの情報を管理するためには、並列処理が不可欠であり、量子情報処理の重ね合わせ状態を用いる並列処理が適している。量子重ね合わせ状態では、20量子ビットで原理的に100万以上の状態の重ね合わせも可能であるため、大容量データに対する認識・検索技術の飛躍的な進歩が期待できる。

研究代表者はこれまでに文字画像とその複数の特徴画像の量子エンタングルメント状態を生成し、特徴画像の量子相関演算により相互相関係数に比例させた確率振幅を積算させることで、所望の画像の観測確率を向上させ、認識を行う量子画像認識アルゴリズムを提案してきた。この量子物体認識アルゴリズムの基本的な考え方として、参照画像データベースにすべての認識対象の画像を組み込み、パターンマッチングにより一致度が最も高いものを確率的に抽出させる。一致度

に応じて操作された確率振幅で認識結果が出力されるため、如何に確率振幅を向上させるかが課題となる。これまでの成果として、アルファベット26文字などの少数データに対する認識能力までしか評価されていないことや特徴画像は固定領域からのデータ抽出に限られていた。本申請研究では、特徴画像を自動抽出できるように改良し、また、大規模画像データへの適用に向けた準備として1,001個の参照物体を対象とする物体認識において、量子画像認識アルゴリズムの認識能力を評価した。更に、現在の電子計算機を用いて量子物体認識アルゴリズムの性能評価を高速に行うために、GPGPU (General-Purpose computing on Graphics Processing Units)を用いた。

3. 研究の方法

量子物体認識アルゴリズムの概要を説明する。認識を行うための参照画像群を用意し、参照画像とその特徴部分との量子エンタングルメント状態を形成する。全ての参照画像と特徴画像のエンタングルメント状態に対して量子重ね合わせ状態を形成し、それを参照信号とする。これに検索対象の入力画像を入れたときに一番相関度の高いものを確率1に近づけて検出することができれば、正しい画像を検出することができる。

量子物体認識アルゴリズムでは、入力画像と参照画像の特徴信号の相関演算を複数回行うことにより入力画像との一致度に対応させて参照信号の確率振幅を変化させる。その結果、最も一致度の高い参照画像の観測確率が向上し、高い確率で対象の物体を認識することができる。

本申請研究では、大規模な参照画像群において特徴画像の抽出を自動に行うため、SURF (Speeded Up Robust Features)とk-meansを導入した。SURFはスケール不変、回転不変、照明変化などに頑強な局所特徴量抽出法として用いられている。このSURFで検出される特徴点は数多く抽出されるため、k-meansを用いてクラスタリングにより特徴点の数を絞る。参照画像群においては、予め特徴画像の抽出を自動的に行えるため検索対象の画像が入力された場合でも処理を高速に行うことが可能である。

4. 研究成果

研究成果として、量子物体認識アルゴリズムの大規模データに対する認識能力の検証とGPGPUを用いたエミュレーション(仮想実験)の高速化の2点について説明する。更に得られた成果の国内外における位置づけと今後の展望を述べる。

(1) 量子物体認識アルゴリズムの大規模データに対する認識能力の検証
構築した量子物体認識アルゴリズムは移動不変性を原理的に有するため、今回はスケー

ル変化に対応可能なように、スケールの異なる参照画像を用意した。参照画像及び検索対象の入力画像として図1のように黒色と白色の2値で構成されるアルファベット、ギリシャ文字、ひらがな、カタカナなどのラテン文字の1001種類を信号として用いた。この内訳は91種類の文字画像をそれぞれ0.97倍から0.67倍まで0.03倍ずつスケーリングした画像である。また画像サイズは256×256画素である。またギリシャ文字の i やラテン文字の i などは特徴量が少なく認識が難しいため除外した。

使用した画像の例を図1に示す。図2にSURFおよびk-meansにより抽出した4つの特徴画像を示す。SURFにより画像に則した特徴画像を数多く抽出し、k-meansによって特徴点の数を減少させている。図2より自動的に特徴画像が抽出されていることがわかる。

参照画像1001種類に対して1001種類の入力画像をそれぞれ入力したときの認識すべき対象の画像の検出確率と認識すべき対象以外の他の画像を検出する確率、すなわち間違い確率のグラフを図3に示す。認識すべき対象の確率振幅の平均は0.92となり、高い認識能力を有することが分かった。また、間違い確率のほうが正しい検出確率より高くなるところが2つみられた。誤認識した画像は検出したい画像の倍率を変化させたものである。文字認識においては同じ分類に入るものであり、応用上は問題がないことが分かる。図4に正しく認識する確率のヒストグラムを示す。ヒストグラムを見ると、ほとんどが0.8以上であり高い検出確率を示す結果となった。検出確率の低い画像は、包含関係に近い画像同士であるため、相互相関に基づく確率振幅の値が低く抑えられたためであると考えられる。

次に、特徴画像の数を変化させたときの平均確率振幅の様子を図5に示す。特徴数を変化させた結果、特徴数を増やすことによって検出確率は増加することが分かる。また、特徴領域は大きいほうが検出確率は高くなる。特徴数が4個以上になると、検出すべき対象の確率振幅の平均値は0.9を超える。そのため、今回用いた文字画像を認識するためには、特徴数は4個で十分であることがわかった。

(2) GPGPU を用いたエミュレーション (仮想実験) の高速化

大規模データベースにおける量子物体認識アルゴリズムの性能を評価するためには高速処理が必要である。量子相関演算は、SIMD型処理であるため、GPGPUを用いた計算が有効である。量子情報処理に基づく物体認識アルゴリズムの特徴は、量子エンタングルメント状態と量子重ね合わせ状態を用いて大規模並列計算が可能であることである。現状では十分な量子ビット数のハードウェアが存在しないため、GPGPUを用いたエミュ

レーションにより認識性能を評価する。

量子物体認識アルゴリズムにおいて相関演算の計算にGPGPUを適用した。CPUを用いた計算では、Intel Xeon CPU E5645 2.40GHzを用いた。GPGPUとしては、本申請研究で購入したNVIDIA Tesla C2075を用いた。相関演算の内訳は入力画像の高速フーリエ変換、入力画像のフーリエ変換画像と参照画像のフーリエ変換画像との複素乗算、最後に複素乗算した画像に対する逆フーリエ変換である。CPUとGPGPUでの計算速度の違いを図6に示す。GPGPUの方がCPUに比べて最低でも約160倍近く高速化できることが分かる。

次に、更なる高速化に基づき量子物体認識アルゴリズムの性能評価を行うために複数のGPGPUを用いてシミュレーションを行った。NVIDIA Tesla C2075を最大4台使用した。GPGPU1個を使用した場合に対して、4個のGPGPUを使用した場合、最大で1.4倍高速化することに成功した。またマルチGPGPUにすることによって10,000個以上の大規模データベース上での相関演算を計算することが可能になった。

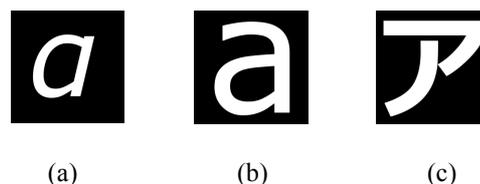


図1 認識に用いた画像例。

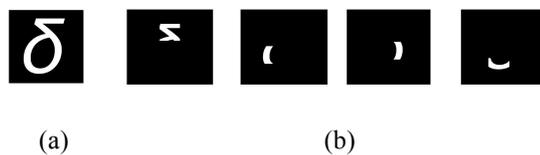


図2 特徴画像の抽出例：(a) 元画像，(b) 特徴画像。

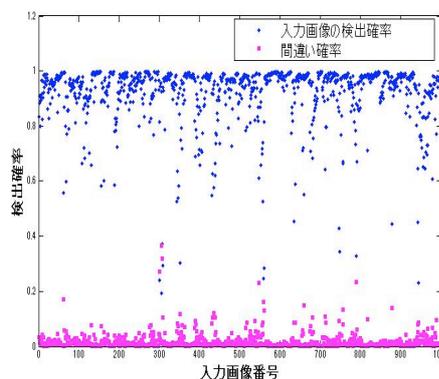


図3 1,001画像に対する正しく認識する確率振幅と他の画像の中での最大確率振幅。

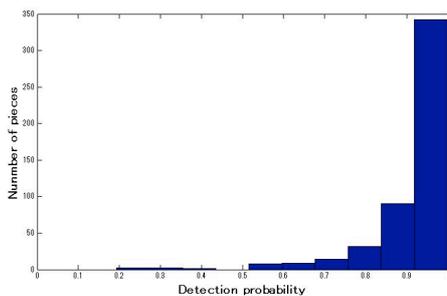


図4 正しく認識すべき画像の検出確率のヒストグラム.

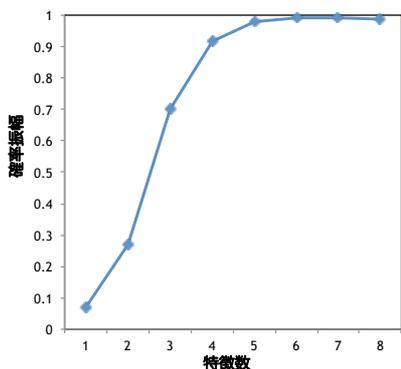


図5 特徴数の変化に対する確率振幅の平均値.

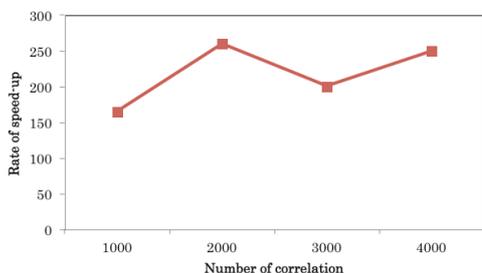


図6 GPGPU による相関演算計算速度の向上.

(3) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

研究代表者の知る限りでは、量子情報処理を用いた物体認識応用に関する研究は国内外ともに少数である。量子情報処理はその並列処理と量子エンタングルメントによる強固な相関現象を利用して、これまでの電子計算機とは異なるアルゴリズムで魅力的な応用を実現できる可能性を秘めているが、実用的なものは少ない。その中で本研究で得られた成果は量子情報処理に基づく物体認識処理を行う方法として利用可能であることを実証したものである。

(4) 今後の展望

本研究で用いた画像数は1,001個である。現在構築されている類似顔画像検索システムにおいては1秒以内で3600万件の検索を可能にしている。量子物体認識アルゴリズムは量子コンピュータが実現できた場合に、その能力を十分に発揮するためのアルゴリズムであるが、既存の計算機を用いて更なる大規模のデータベースにおける認識能力を評価する必要がある。また、文字画像だけでなく顔画像などにも適応し、認識能力を評価する必要がある。また、認識能力向上に向けたアルゴリズムの改良も行う必要がある。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4件)

- ① T. Hashimoto, K. Nitta, and O. Matoba, "Evaluation of quantum object recognition algorithm to large number of references," in The Third Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP) 2013, 2013年11月19日, Daejeon, Korea.
- ② 橋本 拓也, 仁田 功一, 的場 修, "大規模データに対する量子物体認識アルゴリズムの性能評価," 2013年日本光学会年次学術講演会 12pD2, 2013年11月12日, 奈良.
- ③ T. Hashimoto, K. Nitta, and O. Matoba, "Performance evaluation of quantum image recognition using automatic feature extraction," The second Japan-Korea workshops on Digital Holography and Information Photonics (DHIP) 2012, 2012年11月20日, 徳島.
- ④ 橋本 拓也, 仁田 功一, 的場 修, "SURFを用いた量子画像認識の性能評価," 2012年日本光学会年次学術講演会 25aD, 2012年10月25日, 東京.

[その他]

ホームページ等

<http://brian.cs.kobe-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

的場 修 (MATOBA, Osamu)

神戸大学・大学院システム情報学研究科・教授

研究者番号：20282593