

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007 ～ 2009
 課題番号：19300023
 研究課題名（和文）多次元実世界データの効率的な補完法

研究課題名（英文）Efficient Completion for Multi-Dimensional Real-World Data

研究代表者

山口 泰（YAMAGUCHI YASUSHI）

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：80210376

研究成果の概要（和文）：

実世界の 3 次元空間情報や画像・映像情報などが急速に増加している。大量の多次元実世界データの特徴量をもとめ、効率良く処理する手法として、「単純な補間」ではなく、「自然な補完」を実現する手法の確立を目指した。実世界データの自然な補完を実現するためには、データ全体を解析する必要があり、処理の効率化を避けては通れない。本研究課題では、効率化にあたって「SIMD プロセッサによる効率化」と「アルゴリズムによる効率化」という 2 つのアプローチを試みた。前者に関しては大規模ボリュームデータの描画方法を対象として、GPU の性能を十分に引き出すことのできる効率的な描画を実現した。後者に関しては顔形状の印象処理を対象とし、顔形状から見た目年齢の推定と魅力に関する解析を行い、見た目年齢を保存した魅力向上操作を実現することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

Multi-dimensional data such as 3D spatial data, image, video and so on is rapidly increasing. This research aims at developing a novel method of natural and completion instead of simple interpolation by analyzing multi-dimensional data and extracting characteristic values. Efficiency is one of the most important aspect to achieve natural completion because it is crucial to analyze huge multi-dimensional data. The project tried two approaches to this efficiency, namely, "efficient computation with SIMD processor" and "efficient computation by statistical algorithm". As for the former attempt, we focused on rendering of massive volume data and succeeded to accomplish the efficient implementation which allows GPU's full performance. As for the latter attempt, we experimented on facial-impression operation. We have succeeded to implement facial beautification method which preserves apparent age of the original face.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2008 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・メディア情報学/データベース

キーワード： グラフィクス，実世界情報処理

1. 研究開始当初の背景

計算機処理や通信の対象として、実世界の3次元空間情報や画像・映像情報などが、容易に利用できるようになってきた。たとえば、レーザスキャナなどによるレンジデータ、X線CTやMRIによるボリュームデータ、デジタルカメラやデジタルビデオなどによる画像・映像情報など、実世界のデータが急速に増加している。一般に実世界の形状・空間情報や画像・映像情報は、多次元データであり、そのデータ量も多いことが大きな特徴となっている。測定用入力装置の高精度化は、データ量の増加を一層進展させている状況にある。このような大規模データは、人間が手作業で処理することは事実上不可能であり、計算機による適切な処理法が求められている。

研究代表者らは「次元間横断処理」という概念にもとづいて、このような大量の多次元実世界データの特徴量をもとめ、効率良く処理する手法を開発した（基盤研究(B)「実世界データのための次元間横断処理」）。この次元間横断処理によって、実世界データから適切な特徴量を抽出するとともに、この特徴量を補間することで元のデータを適切に復元できるようになった。この手法は、実世界データの連続性を仮定しているが、その限界も明らかになってきた。たとえば、画像情報の一部を削除したうえで、適当に修復することを考える。この際、単なる「補間 (interpolation)」だけでは、当該部分はぼけてしまい、人間には非常に不自然に感じられる。この問題を解決するためには、全体として自然と感じられるパターンやテクスチャを埋め込んだ「補完 (completion)」が必要となる。すなわち、「単純な補間」の場合には修復部分境界での連続性のみに着目すれば良かったが、「自然な補完」を実現する場合には実世界データ全体を解析して修復部分の合成に利用する手法を確立する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究課題では、実世界データに対する「自然な補完」の実現をターゲットとして、実世界データの効率的な解析手法ならびに合成手法の開発を目的とする。ここで実世界データの補完にあたって、「空間情報の補完」と「時間情報の補完」という2つの側面を例として考えてみる。たとえば、空間の次元の

みを持つデータとしては、静止画像、レンジデータ、ボリュームデータなどが挙げられる。これに対して、動画像や時系列のレンジデータやボリュームデータには、時間的な要素が加わっている。空間的な情報は物体などの部分空間によって構成される。これに対して、時間的な情報は連続性が保存される点の特徴的であり、運動などに伴う連続的移動や変形、変化はあっても、物体が突然に出現したり消失したりすることは極めて稀である。すなわち「空間情報の補完」にあたっては各部分空間 (=物体) の分割が重要なポイントとなる。これに対して「時間情報の補完」にあたっては運動ないし変形する物体の追跡が必要となる。

実世界データの自然な補完を実現するためには、データ全体を解析する必要があり、処理の効率化を避けては通れない。本研究課題では、効率化にあたって「アルゴリズムによる効率化」と「SIMDプロセッサによる効率化」という2つのアプローチを試みる。「アルゴリズムによる効率化」とは、多重解像度表現の利用や周波数領域での計算、統計的な学習など、従来から試みられてきた手法の拡張である。これに対して「SIMDプロセッサによる効率化」は、近年急速に発展してきたGPUや異種混合マルチコアプロセッサなどのSIMDプロセッサによって処理の高速化を試みるものである。

3. 研究の方法

本研究課題において対象とした問題は、大きく2つあった。1つは大規模なボリュームデータを多重解像度で表現し、これを実時間で補完することによってPC上での実時間表示を目指すものである。もう1つは人間の知覚する顔印象を顔空間という非常に高次元な空間で処理することで、人間と同様の顔印象解析を実現するものである。ここでは、それぞれについて分けて解説する。

1) 大規模ボリュームデータの描画

近年の計測装置の高度化に伴い、膨大な数値情報を視覚的にわかりやすく表現する可視化への関心は高まっている。その中でも画像内に、より多くの情報を持たせることができるボリュームレンダリングへの期待は大きい。しかし、計測装置の高度化は、データの大規模化という新たな問題も生み出した。このようなデータの容量はグラフ

ックスボード上のテクスチャメモリどころか、PCの主メモリの容量をも上回り、従来の描画手法では扱いきれない問題となっている。GPUの性能を有効に発揮するために、PC全体としてのバランスのとれた実行環境が重要となっている。

2) 顔形状の印象処理

視覚から得られるより高次な情報として、様々な印象が挙げられる。特に、人間にとって顔は非常に特殊な対象であり、顔の画像から性別や年齢、さらには感情などを推定することもできる。画像情報は非常に高次元の情報であるが、人間の受ける印象を適切に抽出・補完することによって、人間と類似した印象判断を行ったり、人間と同様の印象処理を実現できる可能性がある。この場合、高次元情報を適切に解析する統計的なアルゴリズムの利用が重要なポイントとなってくる。

4. 研究成果

4. 1 大規模ボリュームデータの描画

PCは、描画に関連して、ハードディスク、主メモリ、そしてグラフィックスボード上のテクスチャメモリという3つの記憶領域を持つ。各領域の容量はハードディスクが最も大きく、主メモリ、テクスチャメモリという順に小さくなる。本研究課題では、大規模ボリュームデータとして、ハードディスク上には格納可能であるが、主メモリの容量を大幅に超えるものを対象とした。そこで、データを主メモリに載る程度の複数のブロックに分割し、これらブロックの描画を個別に行い、それらを合成することで全体の像を得る。

本研究ではスクリーンの解像度を考慮したLOD制御を考案した。つまりブロックの解像度を、投影されたボクセルの大きさが1ピクセルより小さくなる直前まで上げ、エイリアスを発生させない範囲での最適解像度を目指す。しかし、スクリーン解像度が非常に高い場合、最適解像度ブロックの数が多くなり、テクスチャメモリの容量を超えてしまう恐れがあるので、テクスチャメモリに載り切るまでブロック数を少なくし、テクスチャメモリへの不用意なブロック読み込みを防ぎ、描画速度を安定化できる。

また本研究では、マルチスレッド化によって処理速度の向上を図った。描画スレッドは、描画に必要な現解像度ブロックがテクスチャメモリに存在するか否かを確認し、存在するならばそのまま描画、しないならば主メモリを見る。主メモリに載っているならば、テクスチャメモリに読み込んだ後に描画を行うが、ない場合には描画を行わずにハードデ

ィスクから主メモリへ読み込むように、読み込みスレッドに要求を出す。読み込みスレッドは、要求を出されたブロックのうち、優先度の高いものから順に主メモリへ読み込む。

描画スレッドがブロックの読み込み要求を発行するタイミングは、そのブロックを正に描画する時では遅いので、ブロックの読み込み要求を描画に対し先回りして行う。しかし、ハードディスクからの読み込みに掛かる時間は、CPU上での処理に掛かる時間に比べて圧倒的に長いため、先行してブロックの要求を行ったとしても、描画に間に合わない可能性がある。現解像度ブロックより低解像度なブロックを予めバックアップとして主メモリに読み込んでおき、このブロックを代わりに用いるようにする。

さらに本研究では、1フレーム毎にテクスチャメモリへ読み込む、現解像度およびバックアップブロックの数の合計と、主メモリ・テクスチャメモリ間の転送速度を比較し、読み込むブロックの数が多すぎると判断した場合には、現解像度ブロックに代わりバックアップブロックを読み込むようにする。バックアップブロックを読み込むことによって、描画に必要なブロック数を抑えることができ、ブロックの読み込みに掛かる時間が描画速度を圧迫してしまう事態を防ぐ方法を考えた。

このように、大規模ボリュームデータの描画では、PC環境下で大規模なボリュームデータの実時間表示するシステムの構築法を考察した。具体的にはスクリーンの解像度を加味したLOD制御、マルチコアCPUによるマルチスレッド化、バックアップブロックによる欠けの防止法などを考案した。これらの提案をプログラムとして実装し、性能実験を行うことによって、GPUの性能を十分に引き出すことのできる効率的な描画を実現できることを確認した。

4. 2 顔形状の印象処理

人間にとって顔は非常に特殊な対象であり、顔の画像から性別や年齢、さらには感情などを推定することもできる。本研究では、顔形状の印象として見た目の年齢と魅力を扱うこととした。従来の手法では、顔の魅力と見た目の若さとの相関が強く見られた。すなわち、顔の魅力を高める操作は顔を若返らせ、特に老年の顔画像の魅力を向上させようとする、不自然に若返ったり、場合によっては魅力が減ってしまったこともある。そこで、年齢に応じた美しさや魅力を考えることとした。与えられた顔画像から見た目の年齢を判別し、その年齢に応じて魅力を上げることが必要となる。

顔画像を被験者に判定してもらい、典型

的な若年の顔形状 20 個と中年の顔形状 20 個の組, 中年顔形状 20 個と老年顔形状 20 個の組を, それぞれ学習データとして SVM に与えることで, 若年と中年, 中年と老年との判別器を作成した. この 2 つの判別器の結果を総合することで年齢判別を行ったところ, 男女とも平均して 80%以上の適合率と再現率を実現できた.

次に顔の魅力に関して解析してみた. まず, 年代毎に魅力的な顔画像の平均をとり, これを各年代の中心魅力顔と名付けた. 中心魅力顔を基準として, 魅力的な顔と非魅力的な顔の分布を調べてみたところ, 次のようなことがわかった. 魅力的な顔は, 中心魅力顔を中心として各軸の両側に比較的均等に分布している. またその分布の範囲は比較的狭い. これに対して, 非魅力的とされる顔は, 不均等に分布しており, その分布範囲は広がっている. また, 若年の顔は分布が狭いのに対して, 年齢を経るほど分布範囲が広くなるとともに, 顔の左右のバランスが崩れる傾向が見られた. また, やはり若い顔ほど魅力が高いと判断される傾向にあることもわかった.

以上のように, 顔形状の印象処理では, 見た目年齢の推定と魅力の解析を行った. SVM を利用することで, 人間による見た目年齢の推定をかなりの確率で再現できることが分かった. また, 魅力的な顔は, 中心魅力顔を中心として各軸の両側に比較的均等に分布することを確認した. さらに年齢推定と魅力に関する解析結果を利用することで, 年齢を保存した魅力向上操作を実現することができた.

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 4 件)

- ① 深田陽子, 山口泰, 年齢相応な顔の魅力操作法, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, J92-D(8)巻, 2009, 1166-1175
- ② 山口泰, 視覚の性質を利用するコンピュータグラフィクス, VISION, 査読無, 22(1)巻, 2009, 21-31
- ③ 金井崇, 大竹豊, 川田弘明, 加瀬究, GPUを用いたレイキャスティング法による陰関数局面表示, 査読有, 画像電子学会誌, Vol. 36, No. 4, 2007, pp. 335-343
- ④ Takashi Kanai, Fragment-based Evaluation of Non-Uniform B-spline Surfaces on GPUs, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Vol. 4, Nos. 1-4, 2007, pp. 287-294,

[学会発表] (計 10 件)

- ① Peeraya Sripian, 山口泰, Hybrid image from different contents, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究発表会, 2010/2/12, 岩手県八幡平市ホテル安比グランド
- ② 山口泰, 視覚の性質を利用するコンピュータグラフィクス, 日本視覚学会 2010 年冬季大会, 2010/1/20, 工学院大学新宿キャンパスアーバンテックホール
- ③ 山口泰, 距離によって見え方が変わる二重画像, 錯覚ワークショップ, 2009/9/9, 明治大学駿河台キャンパス紫紺館
- ④ 鈴木裕一, 山口泰, 動画編集のための動き推定, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究発表会, 2009/7/13, 日本 SGI(株) 恵比寿ガーデンプレースタワー SGI ホール
- ⑤ 任陶, 山口泰, 日本マンガの対話的なカラー化, Visual Computing / グラフィクスと CAD シンポジウム, 2009/6/26, 旭川市ときわ市民ホール・勤労者福祉総合センター
- ⑥ 鈴木裕一, 山口泰, ビデオマッピングにおける disocclusion 問題のオペイカルフローによる解決法, 画像の認識・理解シンポジウム, 2008/7/30, 長野県軽井沢町軽井沢プリンスホテル
- ⑦ Takashi Kanai, Yutaka Ohtake, Discrete Shortest Paths on Smooth Surface Representations, Proc. IEEE International Conference on Shape Modeling and Applications, 2008, pp. 283-284
- ⑧ Yutaka Ohtake, Takashi Kanai, Kase kyuu, Deformation and Polygonization of Surfaces Represented by Locally Supported Polynomials, Proc. 4th China-Korea Joint Conference on Geometric and Visual Computing & IJCC Workshop, 2008, pp.167-168
- ⑨ Yuichi Suzuki, Yasushi Yamaguchi, Convolutional Face Finder Using Graphics Hardware, IEVC 2007, 2007/11/25, Cairns, Australia Hilton Cairns Hotel
- ⑩ 渡部広志, 大竹豊, 金井崇, 道川隆士, 近藤邦雄, 4次元陰関数を用いた時系列連続断層画像の形状表現, グラフィクスと CAD/Visual Computing 合同シンポジウム論文集, 2007, pp. 209-214

[図書] (計 4 件)

- ① 山口泰, 昭晃堂, Java による 3D グラフィクス入門, 2009, 174
- ② 日本図学会編, 森北出版株式会社, 図学用語辞典, 2009, 218

- ③ 画像電子学会編，東京電機大学出版会，
画像電子情報ハンドブック第Ⅱ編，2008，
2.2-2.4
- ④ 鈴木賢次郎，横山ゆりか，金井崇，サイ
エンス社，3D-CAD/CG 入門-Inventor と
3ds Max で学ぶ図形科学-，2008，189

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：ポリュームデータの実時間レンダリ
ング方法及び装置

発明者：山口泰，高棹大樹，金井崇

権利者：国立大学法人東京大学

種類：特願

番号：特願 2008-324804

出願年月日：2008/12/20

国内外の別：国内

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 泰 (YAMAGUCHI YASUSHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：80210376

(2) 研究分担者

金井 崇 (KANAI TAKASHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・

准教授

研究者番号：60312261

(2007 → 2008：連携研究者)

(3) 連携研究者

金井 崇 (KANAI TAKASHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・

准教授

研究者番号：60312261