

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500139

研究課題名（和文）画像理解の手法による 3 次元動的心臓モデルの構築に関する研究

研究課題名（英文）Construction of a normal model for beating heart using computer vision techniques

研究代表者

井宮 淳（IMIYA ATSUSHI）

千葉大学・総合メディア基盤センター・教授

研究者番号：10176505

研究成果の概要：心臓のような 3 次元空間において、剛粘性を持つ物体の表面の動きを分類する手法を画像理解の手法、非線形偏微分方程式理論、最適化問題による手法を融合して開発した。すなわち、N 次元ユークリッド空間で定義された濃度分布の微小運動としてのオプティカルフローを定義した。さらに、ナーゲル=エンケルマンの拘束式の一般の次元への拡張を導くと共に、この制約式と対をなす新たな拘束を定義した。また、ホーン=シャンクの拘束式、ナーゲル=エンケルマンの拘束式、新しい拘束式、すべての場合に収束する差分スキームを導出した。そして、3 つの手法による解を比較し、新しい制約条件に基づく手法は 3 次元物体の運動境界での接平面にそった運動を抽出できることを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：コンピュータビジョン パターン認識

1. 研究開始当初の背景

わが国における生活習慣の変化により心臓病の患者が増加し、胃癌、脳溢血などに次いで国民病になる可能性がある国民病の予防には胃の集団検診のように集団検診が有効である。一方、ゲート MRI の進歩により、変動する 3 次元心臓画像が短時間で計測できることから、心臓動画を利用した集団検診も近い将来には可能となる。しかし、多量のデ

ータを扱う集団検診では、モデルデータを利用した疑わしいデータと健全なデータとの効率的な識別分類が必要となる。モデルデータを利用する判別として、データを大量に蓄積する事例データベース利用型識別、標準データを容易するモデル規範型識別の二つが代表的である。本研究では、変動する 3 次元心臓データの標準モデル規範型による診断分別方式を構築することを目的とする。

映像化装置の進歩により、高精度で人体の各部位の臓器を非侵襲に計測できるようになった。そこで、動的人体アトラスの一部として運動する心臓の標準臓器モデルを生成するために、心臓の3次元運動の分類法が必要となっている。そこで運動解析の標準的な手法であるオプティカルフローの手法心臓解析に適用することにした。

2. 研究の目的

臓器のような非剛体3次元形状は、個人により異なっている。また、個人においても経年変化がある。そこで、標準的な形状に変換して、個人差や経年変化を記録する必要がある。心臓の標準モデルを構築する。医用診断は最終的には医師によって行われる。そこで医用データ処理において用意できるものは、医師が診断に利用することができる数値化された特徴量を用意することである。19年度に行う数理解析は、変動する3次元形状を球面正規化表現する算法を開発することである。したがって、数理解析の成果だけでは実際に診断に利用できるデータを抽出蓄積することはできない。そこで数理解析と高速算法も基づいて数値化特徴量の解明することを目指して、実際の心臓ゲートMRI画像に対する認識システムを開発を行う。診断の特徴量として、心電図の波形に基づく規範が伝統的である。この手法は、心電図波形のピーク値の平均値からのずれに基づく方法である。現在では、心電図診断の補助手段として決定木による診察補助システムとして確立されている。この手法は、心臓の動的性質を非侵襲間接的に観察することができる波形を利用したものである。

ゲートMRI画像列を診断に利用する場合、確立されている心電図診断を規範にすることを考えると、球面規格化心臓の動きから、特徴的な動的性質を抽出し、心電図との相関を求めることが現実的な手法の一つと考えられる。このとき、球面規格化心臓の時系列は、値が球面上において定義される信号である球面值信号と考えることができる。すなわち、球面規格化心臓を心電図の値と考えれば、そのピーク値などの特徴量の平均値からのずれを診断基準とすることができることが予想できる。そこで、球面規格化心臓の動的性質の解明のために、以下の2点を中心に球面值信号のための信号処理技術を開発する必要がある。そこで、以下の2点を中心に球面值信号の処理技法を構築する。

3. 研究の方法

形状を電子的に変形する技術はモーフィングと呼ばれ、変形後の形状に元の形状曲面

上のパターンを貼り付ける技術はモザイクと呼ばれる二つの技術は、現在では商業映画の編集などに利用されており、芸術支援としては完成された技術である。しかし、動きを伴うデータである心臓を球面規格化心臓に変換するためには、新たに、心臓表面の局所的な動きを記述するテンソル量に対するモーフィングとモザイク技術を開発する必要がある。

また当然、心臓表面の局所運動を、MRI再構成画像列から高精度計算する手法を開発する必要がある。画像列の中の局所運動を抽出する手法として画像理解の中で開発されたオプティカルフローの手法はそのままでは、3次元非剛体の再構成画像列に適用することはできない。そこで、新たに、非剛体拘束条件を考慮した3次元局所運動の計算法を開発する必要がある。すなわち、画像理解で利用されるルカス=カナデ法、ホーン=シャンク法を含む、再構成画像列からの非接触3次元局所運動計算法を開発する必要がある。

そこで画像理解の手法を利用して、曲面運動の分類、高精細運動解析理論、運動解析理論の計算安定性に関する解析を以下の点を中心に行った。

A. 心臓の部分部分の運動状態を分類するためには、曲面上の動きを記述し分類する必要がある。そこで、画像理解において開発されたオプティカルフローの手法によって曲面上の微小変動を抽出する手法の開発。

B. 効率的な数値計算のために、CGにおいて開発されてきたモーフィング手法を参考に、局所変動構造を保存する曲率流の数値計算に適した定式化。

C. 球面表現されたデータを分類するためには、平面画像やユークリッド空間の点集合を分類する理論に変えて、球面画像の分類理論を構築する必要がある。そこで、球面上の分布に対するパターン認識理論を開発。

4. 研究成果

画像理解において利用される運動解析理論であるオプティカルフロー計算法を、心臓などの3次元非剛体の運動解析に利用するためには、事前情報としての運動モデルの選択が重要であることと、その結果に基づく運動分類方法を解明した。

また、オプティカルフローはベクトル場であるため、勾配法によるオプティカルフロー計算に、ベクトルスプライン拘束を採用することが行われる。変形体の境界壁の動きの抽出には、変形体の力学的性質から薄板スプライン拘束を利用することも行われる。1次ベ

クトルスプライン拘束は、ホーン=シャンク式に等価になる場合が知られている。また、2次元の場合には2次ベクトルスプライン拘束が薄板スプラインと等価になる場合が知られている。そこで、本研究では、まず、一般の次元で2次ベクトルスプライン拘束が薄板スプライン拘束と等価になる条件を示す。さらに、一般の階数の微分に薄板スプライン拘束を拡張し、安定にオプティカルフローを計算する手法を構成した。

さらに、低解像度の画像だけから、動きの境界を認識するために、曲面の微分幾何学量を低解像度画像から高精度に計算するために微分特徴量に適用可能な超解像理論を構築した。画像の点の動きである、オプティカルフローは一次の微分量より計算される。また、領域境界の境界曲線は2次微分量から計算される。従って、低解像画像から、高解像度画像の動きや境界が直接復元できることが分かった。このことから、標準モデルとの判別時に、計測画像を高解像度化することなく効率よく判定識別ができることが分かった。

さらに、変分問題のエネルギー項とペナルティ項の結合係数を解の滑らかさを制御する尺度として捉えなおし変分原理によるオプティカルフロー計算の滑らかさの解析的意味づけを行った。さらに、低解像度の画像だけから動きの境界を認識するために、曲面の微分幾何学量を低解像度画像から高精度に計算するために微分特徴量に適用可能な超解像理論を構築した。すなわち、画像の低解像度作用素が線形である場合には、低解像度画像の微分量から、高解像度画像の微分量を直接精度よく復元できることを示した。画像の点の動きであるオプティカルフローは一次の微分量より計算される。また、領域境界の境界曲線は2次微分量から計算される。従って、低解像画像から、高解像度画像の動きや境界が直接復元できることが分かった。このことから、標準モデルとの判別時に計測画像を高解像度化することなく効率よく判定識別ができることが分かった。

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3件)

1. Y. Mochizuki, A. Torii, A. Imiya. N-Point Hough transform for line detection, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 20. pp242-253. 2009. 査読有
2. T. Sakai, A. Imiya Unsupervised cluster

discovery using statistics in scale space, Engineering Applications of Artificial Intelligence. Vol. 22. pp92-100. 2009. 査読有

3. N. Ohnishi, A. Imiya. Independent Components of Optical Flow in a Multiresolution Image Sequence, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol. 22. pp9 29-944. 2008. 査読有

[学会発表](計5件)

1. K. Kashu, Y. Kameda, A. Imiya, T. Sakai, Y. Mochizuki, Computing the local continuity Order of optical flow using fractional variational method, LNCS in Press. 24-27.8.2009 Bonn 発表予定
2. H. Nishiguchi, A. Imiya, Tomoya Sakai, Scale space hierarchy of segments, LNCS in Press. 2-4.8.2009 Muenster 発表予定
3. N. Ohnishi, Y. Kameda, A. Imiya, L. Dorst. R. Klette. Dynamic Multiresolution Optical Flow Computation, Lecture Notes in Computer Science 4931, 1-15, 2008. 2.14. 2008 Auckland
4. Y. Kameda, A. Imiya, N. Ohnishi. A Convergence proof for the Horn-Schunck optical-flow computation scheme using neighborhood decomposition, Lecture Notes in Computer Science 4958, 262-273, 2008. 15.4.2008 Buffalo
5. A. Imiya, Y. Kameda, N. Ohnishi. Decomposition and construction of neighbourhood operations using linear algebra, Lecture Notes in Computer Science 4992, 69-80, 2008. 5.4.2008 Lyon

[図書](計3件)

1. N. Ohnishi, A. Imiya, Combination of geometrical and statistical methods for visual navigation of autonomous robots, in D. Cremers, B. Rosenhahn, A. L. Yuille eds, Statistical and Geometrical Approaches to Visual Motion Analysis (in Press from Springer volumes in Lecture Notes in Computer Sciences)
2. N. Ohnishi, A. Imiya, Statistical Aspects of Dominant Plane for Robot Navigation, (In Handbook of Computer Vision and Pattern Recognition, World Scientific in Press.)

3. Y. Kameda, A. Imiya, The William Harvey Code: Mathematical analysis of optical flow computation for cardiac motion, 81-104, in Human Motion Understanding, Modelling, Capture, and Animation, Springer, in Computational Imaging and Vision, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井宮 淳 (IMIYA ATSUSHI)
千葉大学・総合メディア基盤センター
・教授
研究者番号：10176505

(2) 研究分担者

なし
研究者番号：

(3) 連携研究者

なし
研究者番号：