

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760263

研究課題名(和文) 時系列統合による運動物体のための能動的3次元センシング

研究課題名(英文) 3D Sensing for Moving Objects Based on Integration of the Time-sequential Range Data

研究代表者

渡辺 義浩 (WATANABE YOSHIHIRO)

東京大学・情報理工学系研究科・特任助教

研究者番号：80456160

研究成果の概要(和文)：

本研究課題の目的は、運動・変形中の物体形状をリアルタイムに取得し得るセンシング技術の確立とその応用展開である。特に、高精度形状復元のためのセンシング情報処理やインターフェースへの応用展開に重点を置いた。

まず、3次元センシングの高解像度化技術を開発した。これは、時系列に取得される運動物体の低解像度形状データから、高解像度の形状を復元するものである。次に、非剛体変形の推定を高精度に行う手法を開発した。これは、対象物体の変形に関する物理的特性の数理モデルを推定問題に取り込むことで、計測ノイズや低解像度による取得データの劣化を解消するものである。また、高速3次元センシングを基盤として、インタラクティブなディスプレイシステムを開発した。これは、変形可能なスクリーンを介在物として、仮想空間の3次元物体を操作する機能を提供するものである。さらに、高速な3次元センシングによって、ユーザのめくり動作中に紙面情報をスキャンする技術を開発した。各ページの紙面の変形を連続的に捉え、書籍情報の歪みを3次元の非剛体モデルによって自動補正することが可能であることを実証した。

研究成果の概要(英文)：

The goal of this study involves the development of the new 3D sensing technology and its applications. The new 3D sensing technology is capable of real-time shape acquisition of a high-speed moving/deforming object. Particularly, I focused on the method for the high-resolution shape reconstruction and applications for man-machine interface.

I have proposed a method for High-resolution shape reconstruction. This method enables the reconstruction of high-resolution shape by integrating multiple time-sequential range images. Also the estimation method for non-rigid deformation has been developed in this study. This method achieves accurate surface estimation and planar development based on a mathematical model involving the physical features of the developable surface. In addition, based on the high-speed 3D sensing technology, I have developed an interactive display system. The proposed system is a variant of the multi-touch display technology that introduces an original way of manipulating three dimensional data by utilizing the deformable tangible screen. As another application, I have developed a new book digitalization technology of scanning large stacks of paper while the user performs a continuous page flipping action. The developed technology shows that it is possible to recognize the 3D deformation of the flipped papers and reconstruct the original flat image.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：センシング情報処理、3次元計測、高解像度化、能動計測、画像センシング、高速ビジョン、計測工学、最適化問題

1. 研究開始当初の背景

運動物体や変動現象の制御など、視覚情報を介して、外界環境に適応的に動作する応用システムの重要性が高まっている。同応用では、外界情報をリアルタイムに定量化する必要がある。この要請は、サンプリング・信号伝送・処理の3技術の強化によるセンシング速度の向上を伴う。特に、1kHzのサンプリングレート・スループットと数msのレイテンシの性能が必要とされることが、ロボティクス、検査、顕微鏡応用などにおいて実証されつつある。

このような性能下で、視覚情報から何を抽出すべきか、という議論は、多様なニーズに従い、展開される必要がある。特に、多くのリアルタイム応用で有望視される技術として、物体形状を計測する3次元センシングがある。しかし、これまでその価値は十分に発揮されていなかった。これは、センシング速度とともに、運動・変形中の物体に対するリアルタイムセンシングに関して、十分な機能を有するものが存在しなかったためである。

そこで、研究代表者は、高精度かつ広範囲の応用で利用可能なパターン投影方式を軸に、その課題克服に着手した。これまでに、多点パターン照射による単一画像での計測完了、高フレームレートイメージング、超並列回路による高速視覚情報処理の3機能を統合したプロトタイプを開発した。結果として、スループット955fps、レイテンシ4.5msでの高速なリアルタイム3次元センシングを世界に先駆けて実現した。次の研究課題として、プロトタイプの検証から得られた問題と発展可能性を軸に、応用展開に向けたシステムのレベルアップが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、運動・変形中の物体形状をリアルタイムに取得し得るセンシング技術の確立を目指している。このようなセンシングの応用例として、産業現場や手術支援におけ

るロボットのための環境認識、工業製品のノンストップ・全数型欠陥検査、走行車両における路面や障害物のセンシング、明るさや姿勢変動に強いマンマシンインターフェースなどがある。研究代表者は、このようなリアルタイム3次元センシングのためのプロトタイプシステムを開発し、基礎的な実現可能性を実証した。

一方、課題も明らかになった。まず、センシング技術の高精度化・高機能化が必須の課題であることが分かった。また、このような高速センシングが実現する新たな応用を具体的に実証していくことも重要な課題である。そこで、本研究課題では、センシング技術の高度化と、本技術がもたらす新しい応用展開の流れを示すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では、「3次元センシングの高解像度化」、「非剛体変形の高精度推定」、「3次元変形するスクリーンを用いたインタラクティブディスプレイシステム」、「高速な書籍スキャンシステム」の4つに取り組んだ。それぞれの研究方法を下記に述べる。

「3次元センシングの高解像度化」では、まず、低解像度の距離画像群を位置合わせする方法を検討した。次に、位置合わせの精度を向上させるとともに、連続曲面を復元する手法の開発に着手した。ここでは、運動推定誤差の修正と曲面の復元が相互に影響することに注目し、同時に最適化する手法を設計し、その効果を検証した。

「非剛体変形の高精度推定」では、対象物体の変形に関する物理的特性の数理モデルを推定問題に取り込むことで、計測ノイズや低解像度による取得データの劣化を解消する手法の開発に取り組んだ。そこで、様々な非剛体の物理特性について調査した。調査結果から、可展面と呼ばれる特性を有する非剛体物体に注目した。可展面の特性を取り込んだ最適化問題を設計し、入力データが疎な点

群の場合にも、高精度に推定が可能であることを検証した。

「3次元変形するスクリーンを用いたインタラクティブディスプレイシステム」では、まず、スクリーンの3次元変形をリアルタイムに取得可能な映像システムを設計した。設計では、投影による映像提示を基本とした。システムの設計では、スクリーンの背面から映像を投影する構成や、赤外光パターンを利用した3次元変形の観測などを取り込んだ。次に、システムを開発し、マルチタッチや映像歪みの補正などの基本機能について動作を確認した。続いて、具体的な複数の応用を同システム上に実装し、その効果を検証した。

「高速な書籍スキャンシステム」では、めくり動作中に紙面を捉えるシステムを設計した。設計では、単一のカメラの同じ視点から、紙面の変形と紙面上の画像を同時に取得可能な構成を採用した。また、書籍の紙面変形の観測に関して、有効な投影パターンを検討した。加えて、変形による紙面の歪みを補正する手法を開発した。同手法は、上述の「非剛体変形の高精度推定」が基本となっている。システム下で、めくり動作を行い、実際に書籍情報を取り込めることを確認した。

4. 研究成果

本研究課題では、運動・変形中の物体形状をリアルタイムに取得し得るセンシング技術の確立とその応用展開を目的としている。特に、高精度形状復元のためのセンシング情報処理やインターフェースへの応用展開に重点を置いている。

平成20年度は、3次元センシングの高解像度化と本センシングシステムが新たに可能とするアプリケーションの開発に従事した。高解像度化は、運動物体の3次元センシングの主要な問題となる。そこで、本研究では、時系列統合による高解像度化の手法を提案した。提案した手法は、低解像度の距離画像群を位置合わせするものである。本手法は、点と平面に関する対応点の選択手法とマルチフレームの位置合わせを同時に最適化す

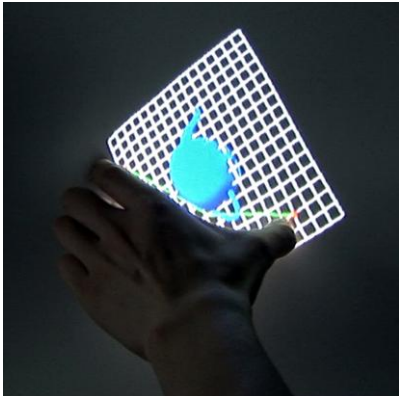


図1. 3次元変形するスクリーンを用いたインタラクティブディスプレイシステム

る枠組みによって、低解像度データの入力下でも安定した動作が期待できることを示した。

また、メディア応用に向けた展開の具体例として、リアルタイムに取得される3次元変形情報を利用して、映像制御を行うインタラクションシステムを構築した。これは、変形可能なスクリーンを介在物として、仮想空間の3次元物体を操作するインタラクションを生み出す技術である。3次元情報のフィードバックによって、スクリーン変形による映像の歪みが補正され、ユーザはあたかもスクリーンの向こう側に物体が存在し、触れているかのような感覚を得ることができているデザインとなっている。図1に、スクリーンを変形させて、物体を把持する様子を示す。

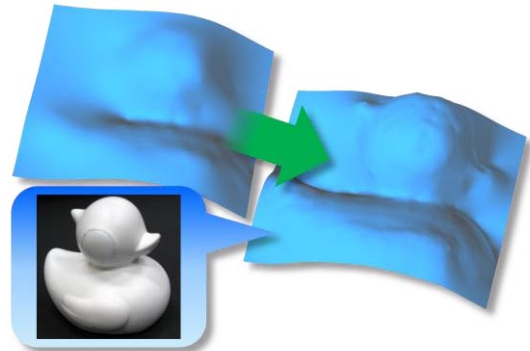


図2. 3次元センシングの高解像度化

平成21年度は、3次元センシングの高解像度化に関して、前年度に開発した手法の拡張に着手した。前年度には、時系列統合による高解像度化を提案し、そのための位置合わせ手法を構築したが、形状曲面が点集合として表現されており、復元精度に限界がある点が問題であった。そこで、連続曲面モデルを同時に推定する手法を構築し、その検証を行った。その結果、センサ系のハードウェア限界を超える高解像度なデータが復元可能であることが分かった。図1に成果の例を示す。図では、複数枚の距離画像を統合することで、小鳥の人形が高解像度化されている様子が示されている。

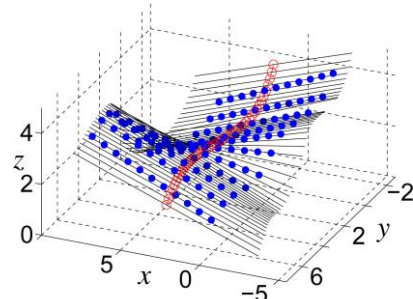


図3. 非剛体変形の高精度推定

一方、提案した高解像度化の手法は、剛体のみ適用可能なものであった。そこで、非剛体変形の推定に関して、高精度化をデータ取得後に達成可能な手法の開発に着手した。

開発した手法は、対象物体の変形に関する物理的特性に関する数理モデルを推定問題に取り込むことで、計測ノイズや低解像度による取得データの劣化を解消するものである。具体的には、可展面と呼ばれる特性を用いて、微分幾何モデルを3次元データの解析において利活用する非線形最適化問題の枠組みを構築した。その結果、変形の高精度化とともに、変形によって歪んで観測された非剛体曲面上の画像を高精度に補正することも可能であることが分かった。図4に成果の例を示す。図では、青の点群が入力データ、黒い線の集合が推定結果である。

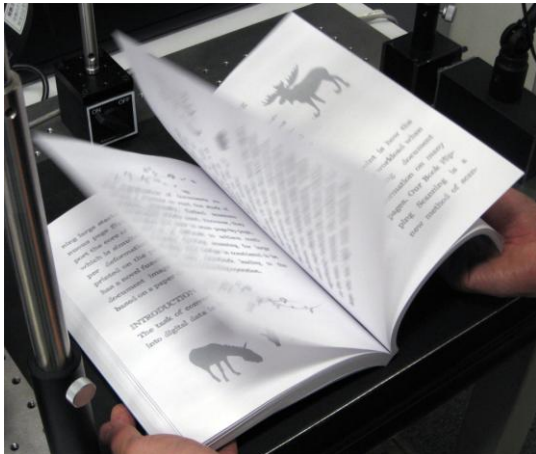


図4. 高速な書籍スキャンシステム

さらに、このような高速・高精度3次元センシングの技術を用いた応用展開に関して、精力的に研究開発を行った。本年度は、書籍の電子化に関する技術に取り組んだ。書籍電子化のニーズが高まっているが、大量の本を手軽かつ高速にスキャンする技術がないことが問題となっている。これを解決する新技術として、Book Flipping Scanningを提案した。これは、高速な3次元センシングによって、ユーザのめくり動作中に紙面情報をスキャンする技術である。図4に書籍スキャンの様子を示す。各ページの紙面の変形を連続的に捉え、書籍情報の歪みを3次元の非剛体モデルによって自動補正することが可能であることを実証した。

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] 渡辺義浩, アルバロカシネリ, 小室孝, 石川正俊: 変形するタンジブルスクリーンへの適応的映像投影を行うインタラクティブディスプレイシステム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 2, 2010.
- [2] 渡辺義浩, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた高速ロボットの実現,

ロボット, Vol. 192, pp. 47-53, 2010.

[学会発表] (計8件)

- [1] 渡辺義浩, 石川正俊: 高速3次元センシングの実現とその新応用, 第57回応用物理学関係連合講演会(神奈川, 2010.3.18)/講演論文集, p. 173
- [2] Takashi Nakashima, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: Book Flipping Scanning, 22nd Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2009) (Victoria, 2009.10.5) / Adjunct Proceedings, pp. 79-80.
- [3] Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: High-resolution Shape Reconstruction from Multiple Range Images based on Simultaneous Estimation of Surface and Motion, The 12th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2009) (Kyoto, 2009.10.1) / Proceedings, pp. 1787-1794.
- [4] 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊: 複数の距離画像を用いた曲面/運動同時推定による高解像度形状復元, 第12回画像の認識・理解シンポジウム(島根, 2009.7.22) / 講演論文集, pp. 1638-1645.
- [5] 中島崇, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊: 可展面モデルを用いた非剛体変形の推定と展開, 第12回画像の認識・理解シンポジウム(島根, 2009.7.22) / 講演論文集, pp. 1690-1697.
- [6] Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: Integration of Time-sequential Range Images for Reconstruction of a High-resolution 3D Shape, The 19th International Conference on Pattern Recognition (Florida, 2008.12.8) / Proceedings.
- [7] Yoshihiro Watanabe, Alvaro Cassinelli, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: The Deformable Workspace: a Membrane between Real and Virtual Space, IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems (Tabletops & Interactive Surfaces 2008) (Amsterdam, 2008.10.03) / Proceedings, pp. 155-162.
- [8] 杉原裕, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊: 運動物体の三次元計測における高解像度形状の復元, 3次元画像コンファレンス2008(東京, 2008.7.10) / 講演論文集, pp. 19-22.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

研究紹介ページ

- <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/members/watanabe/watanabe-j.html>
- <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/HighResolutionShape/>
- <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/perception/DeformableWorkspace/>
- <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/MultiframeAlignment/>
- <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/BookFlipScan/>
- <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/developable/>

Web

- Wired.com: “High-Speed Camera Scans Books in Seconds,” 2010.
- Slashdot: “Japanese Researchers Develop World’s Fastest Book Scanner,” 2010
- IEEE Spectrum: “Superfast Scanner Lets You Digitize a Book By Rapidly Flipping Pages”, 2010.
- You Tube: “Book Flipping Scanning,” 2010.

新聞掲載

- 日本経済新聞(電子版): “パラパラめくって丸ごとスキャン 東大の高速複写機 ユーチューブで世界が注目,” 2010.
- 日本経済新聞: “本の内容、高速読み取り 1冊250 ページ1分で処理 東大、デジタル化しやすく,” 2009.
- 日刊工業新聞: “パラパラめくるだけ 速読で書籍デジタル化 東大がスキャンシステム,” 2009.

マスメディア

- NHK: “おはよう日本 「世界が注目するネット動画」,” 2010.
- NHK: “特ダネ投稿 Do 画,” 2010.
- Reuters: “Speedy scanner re-writes book on publishing technology,” 2010.
- テレビ東京: “ワールドビジネスサテライト トrendたまご 「高速スキャンシステム」,” 2009. 8.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 義浩 (WATANABE YOSHIHIRO)

東京大学・情報理工学系研究科・特任助教

研究者番号: 80456160

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者