

# 超高速書籍電子化技術の研究開発 (102103006)

## Research and Development of High-speed Book Digitization Technology

### 研究代表者

渡辺義浩 東京大学

Yoshihiro Watanabe, University of Tokyo

研究期間 平成 22 年度～平成 24 年度

### 概要

本研究では、ユーザが書籍をめくっている間に書籍情報を高速に電子化する技術を実現する。この技術を Book Flipping Scanning と呼ぶ。この技術では、ページ毎に紙面を止める必要も、めくり動作を正確に行う必要もない。この構想のもと、図書館や企業などの専門機関において大量の書籍を電子化するための技術と、一般的な個人ユーザが日常生活において手軽に利用可能な電子化技術の 2 つを開発した。

### 1. まえがき

デジタル書籍の市場が全世界で急速に拡大している。しかし、紙に印字された従来の書籍を高速かつ手軽に電子化するための技術力は十分でない。超高速な書籍の電子化技術は、ビジネスから日常まであらゆる局面に対して影響を与える強力なものである。本研究開発では、このような新技術を生み出すことを目的とする。これによって、膨大な書籍の電子化の発展を促すとともに、日常生活でいつでもどこでも使える書籍電子化技術の新しい姿を明らかにする。

### 2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、【(1) 超高速書籍電子化技術 Book Flipping Scanning の開発】と【(2) Book Flipping Scanning の応用発展】の 2 つのサブテーマに着手した。サブテーマ (1) は、図書館や企業などの専門機関において、公的に保管する書籍類を電子化するための技術を開発することを目的とするものである。サブテーマ (2) は、一般的な個人ユーザが日常生活において利用可能な新しい書籍電子化技術の研究開発に焦点を当てたものである。【(1) 超高速書籍電子化技術 Book Flipping Scanning の開発】

**複数視点の高速撮像に基づいた 3 次元変形推定と展開画像合成:** 高速かつ高精細な書籍電子化技術を実現するために、複数台のカメラを配置して書籍を捉え、異なる視点の画像を統合することで高精細化を図る技術を開発した。書籍の紙面は平坦でないと同時に、要求される画像の解像度が高いため、画像統合には高い精度が必要となる。また、カメラの台数に応じた高精度の性能向上を達成するためには、複数台の高速カメラを互いの撮影領域がほとんど重複しないように配置する必要がある。

このような技術課題の下、5 台のカメラが 500fps の速度で同時撮像可能な書籍電子化システムを構築するとともに、紙面の 3 次元変形推定及び歪み補正画像の統合のための手法を設計した。図 1 にシステム及び結果例を示す。

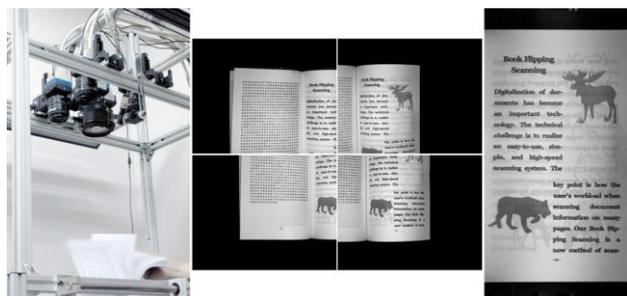


図 1 複数視点統合型書籍電子化システム

提案手法によって、視点統合によるずれや陰影の不自然なギャップを回避しつつ、解像度の向上と歪み補正が可能となることを実証した。

**高速書籍自動めくり機の開発:** 本研究が実現を目指す高速な書籍電子化を達成するためには、自動で書籍を正確にめくることができる装置が必須である。しかし、目標とする速度性能 300 ページ/分は、これまでの関連技術では実現されていない。

そこで、紙の弾性力と送風を利用して、非接触で高速に紙面を搬送する機構に基づいた独自の自動めくり装置を開発した。図 2 に開発したシステムを示す。性能評価実験の結果、提案装置が様々な紙質や大きさの書籍に対して、高速性と正確性を両立できる見込みが十分に高いことを実証した。



図 2 高速書籍自動めくり機

**リアルタイム 3 次元トラッキングによる適応的撮像:** 高速性と高精細を両立するために、ハイブリッドなセンサ構成によって適応的に撮像する構造を導入した。これは、高速な 3 次元センシングによってリアルタイムに紙面状態を評価し、最適となるタイミングにおいてのみ高精細なカメラによる撮像を行うものである。

このような動作を実現するために、紙面の変形推定、取得形状のページ分割、変形する各ページのトラッキング、及びページ状態推定のすべてを、書籍の種類に依らずロバストに認識可能な手法を新たに提案した。図 3 に処理結果の例を示す。本手法は、書籍状態ヒストグラムと呼ぶ新たな特徴量を利用することで、書籍ページのトラッキングや撮像タイミングに関する適合度を 500fps の速度でリアル

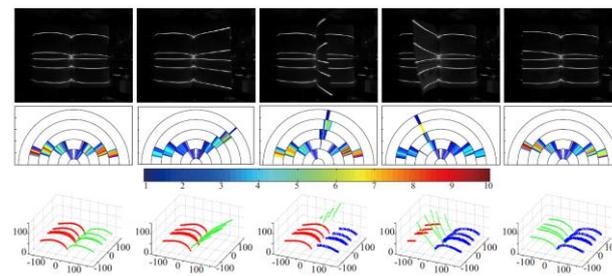


図 3 ページトラッキングの結果

タイムに計算可能である。

### 【(2) Book Flipping Scanning の応用発展】

**高速書籍電子化に向けた単眼動画からの 3 次元変形とその展開テクスチャの復元:** 高速な書籍電子化技術を、日常生活で広く用いるために、携帯できる技術への転換を図った。このためには、システムが小型であるとともに、電子化の速度が高速である必要がある。そこで、本研究開発では、単眼のカメラで変形中の書籍紙面を捉えた動画像を用いるタイプの書籍電子化システムを実現した。図 4 に開発したシステムとその応用形態例を示す。



図 4 単眼動画像を用いた高速書籍電子化システム

さらに、複数枚の画像のみから、捉えられた 3 次元変形を推定するとともに、平面に補正された書籍画像を復元する手法を開発した。本手法は、紙が備える平面展開の特性を利用することで、入力画像間に整合性を満たすための条件付加を定式化し、変形と画像の復元を可能とするものである。図 5 に入力画像(左 2 列)と復元結果(右 2 列)の例を示す。同図で最右端では入力画像と復元画像を拡大して比較している。本手法は、事前に文書のレイアウトなどが未知の場合でも機能するため、様々な書籍に対して適用可能であり、応用範囲が広いと期待できる。



図 5 単眼動画像からの復元結果

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

今後は、本研究開発成果を様々な利用局面に組み込んでいき、新規産業を創出することを目論んでいる。高速書籍電子化技術は、百万冊の単位で書籍の電子化を必要とするビジネス向けから、手軽に情報を取り込みたい一般ユーザー向けまであらゆる場面で利用できる可能性がある。本研究開発で実現された要素技術は、それぞれの局面で要請される性能、コスト、サイズなどに応じて、自由に組み合わせることでシステム化することが可能となっており、多様なニーズに応えることができると考えられる。また、震災などの天災によって大量の書籍が一瞬で失われるリスクも顕在化してきており、個別の書籍やノートなどが重要かそうでないかに関わらず、書籍電子化を瞬時に完了させる要請は今後ますます高まっていくものと考えられる。

またこのようなニーズは国内にとどまらず、海外においても同じように高まっている。具体的に、海外の図書館から一刻も早い導入を希望する要請が来ており、本技術をグローバルに展開するためには大学を超えて新たな組織での取り組みが必須であると考えられる。このように、本研究開発における成果は、新規サービスや新規産業の創出、及び世界的な貢献が確約された技術であり、もはや小・中規模に対応できるレベルを超えていることから、産学間

の連携を強化し、益々の発展を進めるための支援が必要であると考えられる。

### 4. むすび

本研究開発では、当初の目標通りに構想していた技術を具現化するとともに、その性能を定量的に評価することができた。具体的には、「複数視点による 3 次元センシングで 500fps の性能を達成」、「めくり機構技術において 300 ページ/分の性能を達成」、「Book Flipping Scanning 技術において 300dpi の書籍画像取得を達成」、「200 ページ/分で 200dpi の書籍画像取得が可能な小型書籍電子化システムを設計」、「Book Flipping Scanning を単一のカメラのみで実現」などのアウトカム目標を計画通りに達成した。さらに、成果、受賞、報道などについても当初の計画を超えた実績を挙げることができた。

本研究開発は、書籍電子化技術の超高速化のレベルを大幅に上げることに成功し、デジタルアーカイブ分野における重要な役割を果たしたと考えられる。また、実用化に向けた取り組みも積極的に進めており、今後も引き続き発展可能性が高いと考えられる。

#### 【誌上发表リスト】

[1] 渡辺義浩、柴山裕樹、石川正俊、“高速書籍電子化に向けた単眼動画像からの三次元変形とその展開テクスチャの復元”、電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.8, pp1731-1742, 2013.

[2] Yoshihiro Watanabe, Kotaro Itoyama, Masahiro Yamada, Masatoshi Ishikawa “Digitization of Deformed Documents using a High-speed Multi-camera Array, Proceedings of The 11th Asian Conference on Computer Vision”, pp394-407, 2012.

[3] 溜井美帆、山田雅宏、渡辺義浩、石川正俊、“高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機の設計と評価”、日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会(札幌 2012.9.20) / 予稿集, 4G3-8.

#### 【申請特許リスト】

[1] 渡辺義浩 他、ページめくり装置、特願 2012-202880。  
[2] 渡辺義浩 他、書籍読み取りシステム及び書籍読み取り方法、PCT 国際出願、2011.8.19。  
[3] 渡辺義浩 他、カメラを用いた書籍の高速読み取り装置、日本、2011.6.7.

#### 【受賞リスト】

[1] 2013 年 日本印刷学会 技術奨励賞  
[2] 2013 年 日本印刷学会 研究発表奨励賞  
[3] 2012 年 第 17 回 画像センシングシンポジウム 優秀学術賞  
[4] 2011 年 第 17 回 画像センシングシンポジウム オーディエンス賞

#### 【報道掲載リスト】

[1] “東大、小型カメラで書籍を電子化するシステムを開発—パラパラめくるだけ”、日刊工業新聞 (2013.1.24)

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/BFS/index-j.html>