

氏 名 片山 淳

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大 1284 号

学位授与の日付 平成 21 年 9 月 30 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 電子透かし向け空間同期ずれ補正の研究

論文審査委員 主 査 教授 曾根原 登
教授 東倉 洋一
教授 佐藤 真一
准教授 越前 功
准教授 計 宇生
教授 安田 浩（東京電機大学）

論文内容の要旨

本研究は電子透かし検出のための空間同期ずれ補正技術のカメラ付携帯電話端末（以降「携帯」と表記）実機上でのリアルタイム動作実現を目的とする。電子透かしは信号キャリアとなるホスト画像に肉眼では感知できないように信号を埋め込み、また埋め込んだホスト画像から信号を検出する技術である。電子透かしは著作権保護や、アナログメディアとデジタルメディアとの仲介のための有効な手段であり、デジタルホスト画像からだけではなく、アナログホスト画像、すなわち印刷物やディスプレイからの検出を要求される。アナログホスト画像からの電子透かし検出では、埋め込み時と検出時との間の画像に空間同期ずれが生じるため、検出前の空間同期ずれ補正が重要となる。本研究ではその補正方法について新たな提案を行い、それを詳細に論じる。

第1章では、空間同期ずれ補正技術を実用サービスに適用するためには、4つの課題「肉眼で感知できるマーカを使用せず、ホスト画像の内容を事前を知ることなく、携帯にてリアルタイムに、平面射影変換補正を行う。」を解決する必要があることを、既存研究の動向から導出した。既存の空間同期ずれ補正研究は、4つの課題全てを同時に解決できていないことを述べた。本研究ではこれら4つの課題を解決する可能性のある方法を2種類、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) を用いた対応点マッチング補正法と、STA (Side Trace Algorithm) を用いた対応点マッチング補正法とを提案・検討することを述べた。

第2章では、本研究が想定するサービスアプリケーションについて述べ、そこから導き出される本研究で論じる補正技術の目標性能を定めた。同時に、ターゲット端末を既存のカメラ付き端末の中で最も処理性能の低いカメラ付き携帯電話端末と定めた。最も処理性能の低い端末を選ぶ理由は、その端末上で目標処理性能を達成すれば、他のどのような端末でも目標を達成できると言えるからである。

第3章では、第1の提案方法であるSIFTを用いた対応点マッチング補正法（以下SIFT法と呼ぶ）についての検討を述べた。SIFTを採用するに至った着眼点である撮影手ぶれを活用することを述べ、SIFTにより4つの課題の内3つが解決可能なことを示した。SIFT法で解決できない残り1つの課題は携帯上でのリアルタイム性であることを述べた。

第4章では、第2の提案方法であるSTAを用いた対応点マッチング補正法（以下STA法と呼ぶ）についての検討を述べた。まず、STA法導出の考え方を説明した。従来の画像処理手法による特徴点検出では携帯上でのリアルタイム動作が困難であることを実験により示し、ベンチマークテストにより携帯の性能ボトルネックが画像メモリアクセス速度であることを明らかにした。次に画像メモリアクセス量を削減するためには、間引きアクセス採用が必須であることを導出した。ここで、人がカメラ撮影時に注目対象をカメラフレームの中央に配置するという習性を利用すれば、撮影画像の中心線を探索するだけでホスト画像を検出できるという間引きアクセスの基本アイデアを提案し、この基本アイデアを利用してSTA法が設計されたことを述べた。実験によりSTA法は従来画像処理手法の1/10の画像メモリアクセス量にてホスト画像の特徴点検出を実現できることを示した。STA法を携帯に実装して評価し、直線探索手法であるハフ変換に比べ1/100以下、パターンマッチング手法であるSSDA (Sequential Similarity Detection Algorithm) の1/10000以下の処理時間でホスト画像の特徴点検出に成功することを確認した。STA法はホスト画像の4隅を特徴点とし

て用いるため、肉眼で感知できるマーカは不要であり、かつホスト画像の内容を事前を知る必要がなく、4隅の4個の特徴点座標を用いることにより平面射影変換補正に必要な8個のパラメータが導出できることを述べた。以上の検討から、STA法は空間同期ずれ補正の4つの課題を全て解決できることを示した。ただし、実験によりSTA法はホスト画像外周エッジのコントラストが不明瞭な場合は性能が十分に発揮できないことが明らかになった。

第5章では、枠利用型STA法について述べた。本方法はSTA法の弱点であるホスト画像外周エッジのコントラストが不明瞭な場合を救済するために、ホスト画像外周に枠を付与するものである。枠を付与することにより、STA法に比べ処理時間が約1割増加する代わりに、STA法の弱点が克服できることを実験結果により示した。また、枠付与は、どのようなマーカ付与に比べても処理コストが小さいことを定量的に示した。

第6章では、枠の付与なしに枠利用型STA法と同等性能を持つロバスト型STA法について述べた。ロバスト型STA法では、STA法のエッジ検出閾値を小さくし、ホスト画像外周となる可能性のある候補線分を全て検出する。その後、候補線分の組み合わせの中で、幾何学的評価値を用いて最も四辺形らしい組み合わせを選択し、それをホスト画像外周と推定する。ロバスト型STA法はホスト画像外周が不明瞭な場合であっても、枠利用型STA法に匹敵する特徴点検出成功率を達成することを実験により示した。また、ロバスト型STA法の特徴点検出精度を従来画像処理手法であるハフ変換、SSDA、およびSIFT法と定量的に比較し、誤差の大きさにおいてSIFTより6倍優れ、ハフ変換およびSSDAに対して遜色がないという結果を得た。同時に電子透かし検出に必要な特徴点検出精度を定量的に算出し、それと比べる事によってロバスト型STA法は電子透かし検出に十分な精度を持つことを示した。

第7章では、ロバスト型STA法の動画像への対応について述べた。動画像では、動画像表示装置の筐体外周が四辺形のため、筐体外周の四辺形をホスト画像外周の四辺形と誤認識する問題がある。この問題を、動画像内の四辺形を時間軸方向で同定する追跡により解決できることを示した。追跡に用いる画像特徴量について検討し、四辺比と周囲長を用いることを述べ、実験によりこれらの画像特徴量が動画像内の四辺形追跡に有効であることを示した。

第8章では、基本STA法の円形状への適用について述べた。STA法は容易に円形状検出にも利用できることを述べ、円形状を検出するハフ変換と比較して、円形状用STA法が1万倍高速であることを実験により示した。

第9章では、STA法、枠付与型STA法、ロバスト型STA法、および動画像対応STA法が実用サービスに用いられていることを紹介した。STA法は特許として2007年に登録され、2009年現在においても携帯で四辺形をマーカ無しでリアルタイムに検出する世界で唯一の方法であるため、携帯を利用した印刷物からの電子透かし検出や、組み込みプロセッサに実装した認証カード顔写真検出など様々な実用サービスに使われていることを紹介し、将来は景観中文字認識、外国語看板自動翻訳、車載カメラによる道路標識認識、携帯によるリアルタイム投票などに使われる可能性を示唆した。

第10章で本論文の成果をまとめた。提案したSTA法は、画像を全てアクセスすることなく処理を完了する画像処理の新たなパラダイムを用いて、空間同期ずれ補正技術の4課題「肉眼で感知できるマーカを使用せず、ホスト画像の内容を事前を知ることなく、携帯にてリアルタイムに、平面射影変換補正を行う。」の同時解決を可能とした。

博士論文の審査結果の要旨

本研究は電子透かし検出のための空間同期ずれ補正技術のカメラ付携帯電話端末（以降「携帯」と表記）実機上でのリアルタイム動作実現を目的としている。電子透かしは信号キャリアとなるカバー画像に肉眼では感知できないように信号を埋め込み、また埋め込んだカバー画像から信号を検出する技術である。電子透かしは著作権保護や、アナログメディアとデジタルメディアとの仲介のための有効な手段であり、デジタルカバー画像からだけではなく、アナログカバー画像、すなわち印刷物やディスプレイからの検出を要求される。アナログカバー画像からの電子透かし検出では、埋め込み時と検出時との間の画像に空間同期ずれが生じるため、検出前にいかに空間同期ずれを補正できるかが重要であることを述べている。

第1章では、空間同期ずれ補正技術を実用サービスに適用するためには、4つの課題「肉眼で感知できるマーカを使用せず、カバー画像の内容を事前に知ることなく、携帯にてリアルタイムに、平面射影変換補正を行う。」を解決する必要があることを、既存研究の動向から導出している。既存の空間同期ずれ補正研究は、4つの課題全てを同時に解決できていない。本研究ではこれら4つの課題を解決するための方法、STA (Side Trace Algorithm) を用いた対応点マッチング補正法を第2章以降で提案してその性能について論じている。

第2章以降では、STA導出の考え方を論じている。従来の画像処理手法による特徴点検出では携帯上でのリアルタイム動作が困難であることを実験により示し、続いてベンチマークテストにより携帯の性能のボトルネックが画像メモリアクセス速度であることを明らかにしている。従って画像メモリアクセス量を削減するために、STAは間引きアクセスを採用すべきことを導出している。

第4章以降では、人がカメラ撮影時に注目対象をカメラフレームの中央に配置するという習性を利用すれば、撮影画像の中心線を探索するだけでカバー画像を検出できるという間引きアクセスの基本アイデアを解説し、この基本アイデアによりSTAは従来画像処理手法の1/10の画像メモリアクセス量にてカバー画像の特徴点検出を実現できることを示している。STAを携帯に実装して評価し、直線探索手法であるハフ変換に比べ1/100以下、パターンマッチング手法であるSSDA (Sequential Similarity Detection Algorithm) の1/10000以下の処理時間でカバー画像の特徴点検出に成功することを確認している。STAはカバー画像の4隅を特徴点として用いるため、肉眼で感知できるマーカは不要であり、かつカバー画像の内容を事前に知る必要がなく、4隅の4個の特徴点座標を用いることにより平面射影変換補正に必要な8個のパラメータが導出できることを述べている。以上の議論から、STAは空間同期ずれ補正の4つの課題を全て解決できることを示している。

第10章では、STAの特徴点検出精度を従来の画像処理手法であるハフ変換、SSDA、およびSIFT (Scale-Invariant Feature Transform) と定量的に比較し、誤差の大きさにおいてSIFTより6倍優れ、ハフ変換およびSSDAに対して遜色がないという結果を得ている。同時に電子透かし検出に必要な特徴点検出精度を定量的に算出し、それと比べる事によってSTAは電子透かし検出に十分な精度を持つことを示している。

最後に、STAは特許として2007年に登録され、2009年現在においても携帯で四辺形をマーカ無しでリアルタイムに検出する世界で唯一の方法であるため、携帯を利用した印刷物か

らの電子透かし検出や、組み込みプロセッサに実装した認証カード顔写真検出など様々な実用サービスに使われていることを紹介し、将来は景観中文字認識、外国語看板自動翻訳、車載カメラによる道路標識認識、携帯によるリアルタイム投票などに使われる可能性を示唆している。

本研究は空間同期ずれ補正技術を実用サービスに適用するため、4つの課題「肉眼で感知できるマーカを使用せず、カバー画像の内容を事前に知ることなく、携帯にてリアルタイムに、平面射影変換補正を行う。」を解決する研究である。既存の空間同期ずれ補正研究は、4つの課題全てを同時に解決できていないが、本研究ではこれら4つの課題を解決するSTA(Side Trace Algorithm)を考案した。これにより、電子透かし検出のための空間同期ずれ補正、カメラ付携帯電話端末実機上でのリアルタイム動作を実現した。この結果、技術開発、国際会議、ジャーナル論文、学会活動などの学術貢献、特許登録、システム開発、サービス開発など研究開発から実用化にむけた一連の活動において、多くの学術貢献、産業貢献を達成しており、学位に値するものと判断する。