

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 21 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330206

研究課題名(和文) ラドン変換と弾性マッチングによる斜め撮影に頑健な形状認識

研究課題名(英文) Robust pattern recognition under shearing and perspective distortions based on Radon transform and non-linear matching

研究代表者

長谷川 誠 (Hasegawa, Makoto)

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：80303171

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：被写体の歪みに頑健な物体認識技術について検討する。ラドン変換と非線形マッチング(ダイナミック・タイム・ワーピング)を用いることによって、被写体の回転・拡大縮小・平行移動・せん断に不変な認識方法を提案する。さらに、文書認識において、行から生成される消失点を用いた射影歪みの補正方法についても提案する。消失点検出の障害となりうる線分ノイズをRANSACアルゴリズムによって除去する方法についても提案する。

研究成果の概要(英文)：Robust pattern recognition methods based on Radon transform under various distortions are discussed. Our proposed recognition methods are invariant for Affine distortions on shapes (rotation, scaling, translation, and shearing) using Radon transform and a non-linear matching (Dynamic Time Warping). Moreover, for document recognition, a correction method for perspective distortions using vanishing points made by text lines is discussed. Some noisy lines unrelated to the vanishing points are removed using RANSAC algorithm in the Radon domain.

研究分野：情報工学

キーワード：物体認識 文書認識 せん断歪み 射影歪み ラドン変換 非線形マッチング RANSACアルゴリズム

### 1. 研究開始当初の背景

被写体の歪みに頑健な形状認識について検討する。これまでに、種々な方法が提案され、文字認識や生体認証などに応用されている。研究代表者もラドン変換を用いて被写体の回転・拡大縮小・平行移動に頑健な方法(振幅限定対数ラドン変換)を提案し、次の文献で発表している。

○パターンマッチングにおける振幅限定対数ラドン変換法の提案, 長谷川誠, 査読あり, 電子情報通信学会論文誌, D, J92-D, No.10, pp.1720-1722, Oct. 2009.

○Amplitude-only Log Radon Transform for Geometric Invariant Shape Descriptor, M. Hasegawa and S. Tabbone, 査読あり, Pattern Recognition, Sep. 2013.

ところで、画像にせん断歪みや射影歪みが生じる場合がある。これまで提案されている方法では、これらの歪みに頑健ではなく、認識率の低下をまねく。原画像を逐次、せん断や射影変換しながら変形し、形状照合する単純な方法が考えられるが、変形における試行錯誤の回数が少ないと認識率は低下し、また長時間を要することが問題である。そこで、研究代表者は、「ラドン変換」と「弾性マッチング(動的計画法)」とを組み合わせ、被写体のアフィン変換に頑健な形状認識方法を提案した。画像がせん断歪みを受けていても安定して照合できることを示した。

○Affine Invariant Shape Matching Using Radon Transform and Dynamic Time Warping Distance, M. Hasegawa and S. Tabbone, 査読あり, The 27th ACM Symposium on Applied Computing (ACM SAC2012), Riva del Garda, Italy, pp.777-781, Mar. 2012.

この発表では、単連結成分による単純な2値図形を用いた方法の提案のみであり、文字認識等の応用に言及していない。また、被写体の射影に頑健ではない。

### 2. 研究の目的

スマートフォンなどの携帯端末を用いて文字認識する場合について検討する。文書が記載されている平面とレンズの光軸が直行せずに傾いている場合、文字にせん断歪みや射影歪みが生じる(図1)。これまでに提案されている方法では、これらの歪みに頑健ではなく、文字認識率の低下をまねく。そこで、研究代表者が提案した「ラドン変換」と「弾性マッチング(動的計画法)」とを組み合わせた形状認識方法を文字認識へ適用し、せん断変形への耐性を有することを明らかにする。また、せん断歪みのみならず、射影歪みについても検討し、新たな方法の提案によって耐性を確立することが目的である。

### 3. 研究の方法



(a)



(b)

図1 (a)斜め下からの掲示板撮影, (b)撮影結果(歪みを含む)

#### (1) せん断歪みへの耐性

ラドン変換と弾性マッチング(動的計画法)によって、せん断歪みに耐性のある方法を提案する。図2(a)の原画像と、図2(b)のせん断歪みを受けた画像をラドン変換すると、それぞれ図2(c)と図2(d)が得られる。せん断歪みを受けると、ラドン変換結果における各列は個別に縦方向に拡大縮小し、更に、横方向に弾性歪みが生じる。ラドン変換した2つの画像からそれぞれ抽出した列の相関を、研究代表者が提案した振幅限定対数ラドン変換で算出する。この相関は列の縦方向の拡大縮小に頑健である。列すべての組み合わせにおける相関を算出し、プロットした結果を図2(e)に示す。図の縦軸が図2(c)の各列を示し、横軸が図2(d)の各列を示す。図2(e)には蛇行したラインが生じ、これが横方向への弾性歪みを示している。弾性マッチング方法(Dynamic time warping)を適用して、せん断歪みに頑健なパターンマッチングを実現する。せん断歪みを克服することにより、被写体の回転・拡大縮小・平行移動・せん断・鏡映すべてに頑健となり、すなわちアフィン変換不変を達成することとなる。

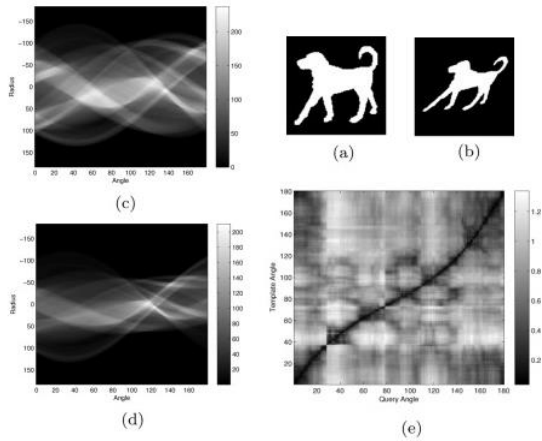


図 2 (a)被写体 (原画像), (b)せん断歪みを含む被写体, (c)原画像のラドン変換結果, (d)せん断歪みを含む被写体についてのラドン変換結果, (e)弾性マッチング

研究代表者が以前に国際会議で提案した方法を更に拡張し、実験によって認識率を評価し、ジャーナル論文で発表する。なお、ここでは汎用的な基盤技術の提案を目指し、文字認識への適応ではなく、単連結の単純な図形 (動物のシルエット) を用いて評価し、認識率を評価する。

## (2) 射影歪みへの耐性

図 1(a)や図 3(a)に示すように、文書を見上げるように撮影すると、図 1(b)、図 3(b)に示すように画像に射影歪が生じる。被写体の平行線は、もはや射影歪によって平行性が保たれない。原画像で平行線であった直線群と、文字列の固まりにおける両端 (インデント) を延長した直線群が、図 3(c)に示すように 2 つの消失点を生成する。

ラドン変換によって消失点を検出することが可能である。図 3(b)の原画像をラドン変換した結果を図 4(a)に示す。文書中の行はラドン変換結果における中央の点列となる。すなわち、ラドン変換すると、直線は点に変換される。なお、この点列は直線上に整列しているように見えるが、厳密には正弦曲線上に並んでいる。また、インデントによる縦線はラドン変換結果における端部の点となる。なお、端部の点は不鮮明であるため、微分処理を適用して検出する。ラドン変換結果を 2 値化し、ドメイン上下に零値をパディングしてドメインを拡大し、逆ラドン変換することによって消失点を検出する。

消失点の位置から図 4(b)に示すように歪を補正する射影行列を定義する。射影変換により原画像の射影歪を除去する。

文書データセットを用いて文字認識する。従来方法と比較し、本提案方法の性能を示す。

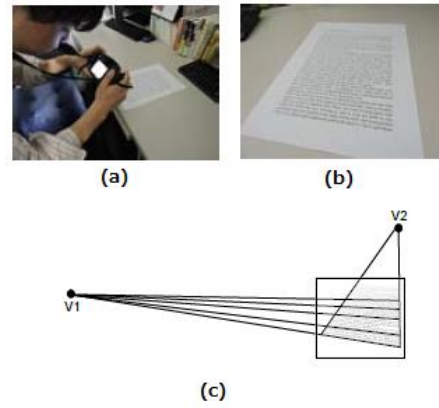
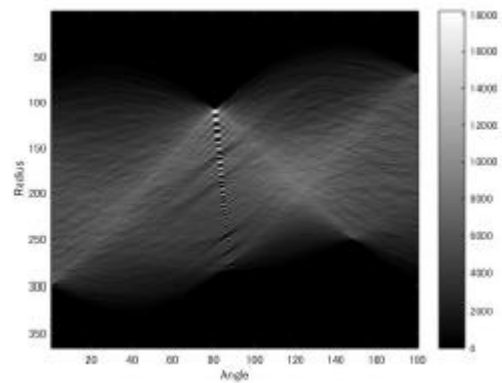
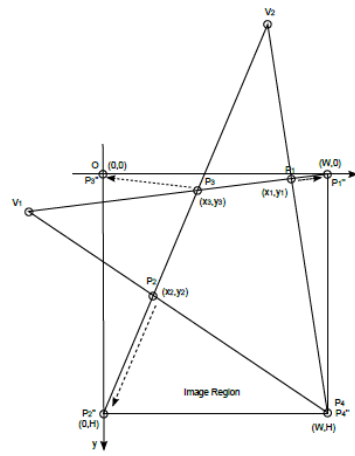


図 3 (a)文書の撮影, (c)射影歪を含む文書画像, 行・改行によって生成される消失点



(a)



(b)

図 4 (a)図 3(b)の文書画像をラドン変換した結果, (b)消失点から補助線を生成, 歪を補正する射影変換の定義

研究評価を国際会議で発表する。

## (3) 線分ノイズ除去

形状認識では、雑音やオクルージョンが認識率を低下させる。ここでの雑音とは、文中の垂直・水平線分以外の線分 (線分ノイズ)

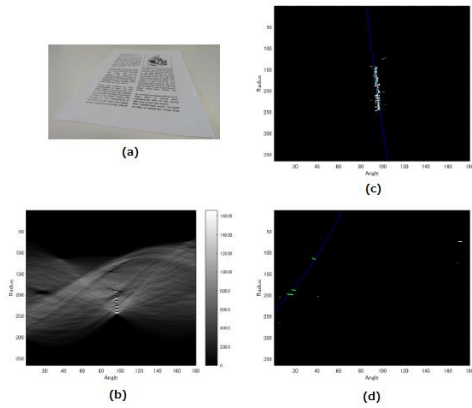


図 5 (a)原画像, (b)ラドン変換結果, (c) 行（水平線）を示す点列の抽出と RANSAC による正弦曲線抽出, (d) インデント（垂直線）を示す点の抽出と RANSAC による正弦曲線抽出

であり、これらの線分ノイズが消失点検出に誤差を与える。一方、ここでのオクルージョンとは、紙が平面ではなくカーブし、直線状に並んでいる行が弧を描く場合であり、これも消失点検出に誤差を与える要因となる。

RANSAC アルゴリズムを用いて線分ノイズを除去する方法について検討する。RANSAC アルゴリズムとは、外れ値を含むデータであっても頑健にモデル推定を可能とする方法で、ノイズに頑健な直線近似に応用される。ここでは、文書中の行はラドン変換によって点列となるが、これらを含む一連の点列には線分ノイズによる点が含まれる場合がある。なお、線分ノイズは消失点を通らない。線分ノイズに頑健な消失点検出のために、RANSAC アルゴリズムを適用する。なお、点列は直線上ではなく、正弦曲線上に並んでおり、単純な直線検出ではない。RANSAC アルゴリズムの適用に関して工夫する必要がある。RANSAC アルゴリズムによって点列の並びを示す正弦曲線を算出し、正弦曲線から外れた点を線分ノイズとして除去する。

なお、RANSAC アルゴリズムのオクルージョンへの効果も考察する。

#### 4. 研究成果

##### (1) せん断歪みへの耐性

ラドン変換と弾性マッチング（動的計画法）によってせん断歪みへの耐性を実現する方法を提案し、単純な図形（動物のシルエット）、アルファベット文字によるデータセット、ロゴマークによるデータセットを用いて認識率を評価した。4つの従来方法と比較し、本提案方法の認識率が高いことを明らかにした。

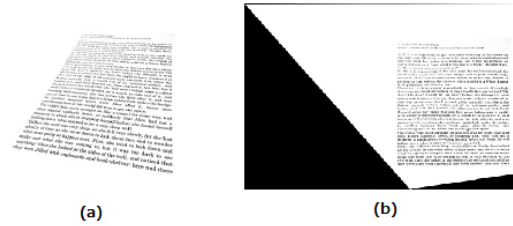


図 6 (a)射影歪みを含む原画像, (b)射影歪みの補正

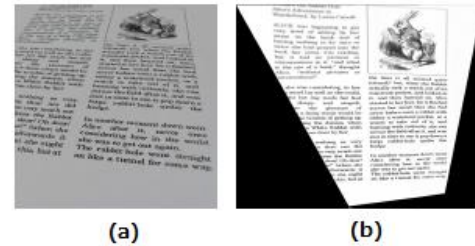


図 7 (a)射影歪みを含む原画像, (b)線分ノイズ除去による射影歪みの補正

この成果を国際的なジャーナル論文誌 (*Neurocomputing*) に掲載した。また、国内の全国大会等 3 件で発表した。

##### (2) 射影歪みへの耐性

消失点検出による射影歪みの補正方法を提案した。また、実際にカメラ付き携帯端末を用いて文字認識し、図 6 に示すように射影歪みが補正されることを示した。文書のデータセットを用いて認識率を評価した。2つの従来方法と比較し、本提案方法の認識率が高いことを明らかにした。

この成果を国際会議 (ICDAR2016) で発表した。また、国内の全国大会等 4 件で発表した。現在、ジャーナル論文への投稿を計画している。

##### (3) 線分ノイズ除去

RANSAC アルゴリズムを用いた線分ノイズ除去方法を提案した。また、実際にカメラ付き携帯端末を用いて文字認識し、図 7 に示すように射影歪みが補正されることを示した。文書のデータセットを用いて認識率を評価した。3つの従来方法と比較し、本提案方法の認識率が高いことを明らかにした。

この成果を国内の全国大会等 2 件で発表した。現在、成果を国際会議 (ICDAR2017) に投稿中である。また、ジャーナル論文への投稿を計画している。

##### (4) その他の成果

当初の計画に含まれていた「ローカルディスクリプタ化」については、方法を提案する状況にあるが、成果の発表には及ばなかった。



引き続き検討，発表を計画している．また，本方法の数学的な一意性の証明などは，明らかな成果が得られなかったが，今後の課題とする．

#### 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 1 件)

- ① M. Hasegawa and S. Tabbone, "Histogram of Radon Transform with Angle Correlation Matrix for Distortion Invariant Shape Descriptor," *Neurocomputing*, 査読有, 173, 1, pp.24-35, Jan. 2016. doi>10.1016/j.neucom.2015.04.100

[学会発表] (計 10 件)

- ① 武澤裕介, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失点検出による射影歪み補正-RANSAC アルゴリズムを用いた線分ノイズ除去検討-," 情報処理学会全国大会, 名古屋大学(愛知県・名古屋市) Mar. 2017.
- ② Y. Takezawa, M. Hasegawa, and S. Tabbone, "Camera-Captured Document Image Perspective Distortion Correction Using Vanishing Point Detection Based on Radon Transform," *International Conference on Pattern Recognition (ICPR2016)*, 査読有, pp. 3957-3963, Cancun, Mexico カンクン市(メキシコ), Dec. 2016.
- ③ 武澤裕介, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失点検出による射影歪み文字認識検討 ~ RANSAC アルゴリズムによる線分ノイズ除去実験 ~," 信学技報, PRMU2016-152, pp.1-6, 北海道大学(北海道・札幌市), Feb. 2017.
- ④ 武澤裕介, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失点検出による射影歪み日本語認識検討," 映像情報メディア学会年次大会, 32-D2, 三重大学(三重県・津市), Sept. 2016.
- ⑤ 武澤裕介, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失点検出による射影歪み補正検討-日本語文字列の歪み補正-, " 第 44 回画像電子学会年次大会 予稿集, S4-3, 早稲田大学(東京都・新宿区), June, 2016.
- ⑥ 武澤裕介, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失点検出による射影歪み補正の評価," 電子情報通信学会東京支部学生会第 21 回研究発表会, 東海大学高輪キャンパス(東京都・港区), Mar. 2016.
- ⑦ 杉山健太, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失

点検出による射影歪み補正実験," 電子情報通信学会総合大会, 九州大学(福岡県・博多市), Mar. 2016.

- ⑧ 杉山健太, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, 長谷川誠, "ラドン変換を用いた消失点検出による射影歪み補正の考察," 映像情報メディア学会冬季大会, 22B-1, 早稲田大学(東京都・新宿区), Dec. 2015.
- ⑨ 長谷川誠, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, "非線型マッチングによるせん断変形不変な照合に関する一考察," 電子情報通信学会総合大会, D-12-13, pp.65, 立命館大学(滋賀県・草津市), Mar. 2015.
- ⑩ 長谷川誠, 石原聖司, 古川貴雄, 滝口孝志, "ラドン変換と非線型マッチングによるアフィン変形不変な文字認識方法の提案," 信学技報, PRMU2014-115, pp.19-24, 東北大学(宮城県・仙台市), Feb. 2015.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

長谷川 誠 (HASEGAWA, Makoto)  
東京電機大学・工学部・教授  
研究者番号: 80303171

##### (2) 研究分担者

石原 聖司 (ISHIHARA, Seiji)  
東京電機大学・理工学部・教授  
研究者番号: 50351656

滝口 孝志 (TAKIGUCHI, Takashi)  
防衛大学校・総合教育学群数学教育室・准教授

研究者番号: 50523023

古川 貴雄 (FURUKAWA, Takao)  
共立女子大学・家政学部・教授  
研究者番号: 70262699