

自由に紙をちぎって電子情報を手渡す インタラクシオン方式の提案

富永 詩音¹ 呉 健朗² 伊藤 貴之³ 宮田 章裕^{1,a)}

概要：スマートフォンをはじめとする電子端末の普及により、画像や動画などの電子情報の受け渡しは今や日常的に行われるようになった。メールや SNS などを利用して電子情報を受け渡すためには、送信者は受信者の連絡先を知っている必要があるが、受け渡し相手が初見の相手や、その場限りの相手であると、連絡先を交換することに抵抗を感じるユーザは多いと思われる。この問題を解決するために、我々は、紙をちぎって手渡すことで電子情報を受け渡す方式を提案してきた。これは、ある紙を 2 片にちぎり分けたとき、各紙片の破れ目の特徴が合致する性質を利用したアプローチである。本方式を用いて電子情報を受け渡す際には、送信者が紙を 2 片にちぎり、一方を受信者に手渡す。このとき送信者が持つ紙片を s 、受信者が持つ紙片を r とする。送信者は受け渡す電子情報を選択したのちに s をカメラで写し、 s の破れ目部分の特徴と電子情報とを結びつける。受信者は r をカメラで写すことで、 r と破れ目の特徴が合致する紙片 s に結びつけられた電子情報にアクセスできる。本稿では、自由に紙をちぎった場合でも高いマッチング精度を実現するために、紙片の特徴量を抽出する処理の改良と、新たな特徴量の導入を行った。従来手法とのマッチング精度比較実験では、従来手法よりも高い精度で紙片同士のマッチングを行うことができることを確認した。

1. はじめに

スマートフォンをはじめとする電子端末の普及により、画像や動画などの電子情報の受け渡しは今や日常的に行われるようになった。例えば、“ツアー参加時に撮った集合写真を送るとき”、“バンドのライブで撮影した動画を送るとき”のような例が挙げられる。電子情報を受け渡す手段として、メールや SNS アプリケーションの利用が考えられるが、これらを利用するためにはユーザは連絡先を交換する必要がある。送受信者同士が見知った仲であれば、連絡先を交換することに抵抗はない。しかし偶然ツアーで知り合っただけの人や、ライブで隣席になっただけの人と連絡先を交換することに抵抗を感じるユーザは多いと思われる。

この状況に鑑み、我々は、電子情報の受け渡しを行うシーンにおいて、連絡先を交換することなく電子情報の受け渡しを行う方式の確立に取り組んできた。具体的には、誰もが日常的に持っており、簡単に入手でき、かつ手軽な作業でユニークな特徴を生み出すことができる紙に着目し、紙をちぎって手渡すことで電子情報を受け渡す方式の

提案を行ってきた [1][2][3][4]。これは、ある紙を 2 片にちぎり分けたとき、各紙片の破れ目の特徴が合致する性質を利用したアプローチである。本方式を用いて電子情報を受け渡す際には、送信者が紙を 2 片にちぎり、一方を受信者に手渡す。このとき送信者が持つ紙片を s 、受信者が持つ紙片を r とする。送信者は受け渡す電子情報を選択したのちに s をカメラで写し、 s の破れ目部分の特徴と電子情報とを結びつける。受信者は r をカメラで写すことで、 r と破れ目の特徴が合致する紙片 s に結びつけられた電子情報にアクセスできる。また、紙をちぎり分け合ったユーザ同士が互いに所持する紙片を交換することなく、送信者と受信者の役割を入れ替えることも可能である。我々の当初の実装 [1][2][3] では紙のちぎり方は直線状である必要があり、異なるユーザがちぎった紙同士の特徴が似通ってしまうため、マッチング精度は一定の範囲で頭打ちとなっていた。自由に紙をちぎれるようにした改良版 [4] は、理論上マッチング精度が大きく向上するはずであったが、利用する特徴量が最適でなかったため、向上後の精度は実用的なものとはならなかった。本稿では、自由に紙をちぎった場合でも高いマッチング精度を実現するために、紙片の特徴量を抽出する処理の改良と、新たな特徴量の導入を行ったことについて論じる。

本稿の貢献は下記のとおりである。

¹ 日本大学文理学部

² 日本大学大学院総合基礎科学研究科

³ お茶の水女子大学

^{a)} miyata.akihiro@acm.org

- 紙片同士のマッチングに使用する特徴量をより正確に抽出する方法を考案し、実装を行ったこと
- 紙片同士のマッチングに使用する新たな特徴量を考案し導入したこと
- 上記2点を実装したシステムと従来の我々のシステムとで紙片同士のマッチング精度の比較実験を行ったこと

2. 従来研究と現状の問題点

スマートフォンをはじめとする電子端末の普及により、電子情報の受け渡しは今や日常的に行われていることである。電子情報を受け渡すシーンとして、下記のような例が挙げられる。

- ツアー参加時に撮った集合写真を送る
- バンドのライブで撮影した動画を送る

このような電子情報の受け渡しを行う際には、メール、SNSアプリケーション、既存研究などの利用が考えられる。しかし、ユーザに負担をかけずに、相手を問わず円滑に情報の受け渡しを行うためには、我々の先行研究[2]で整理したように、下記3つの問題が存在する。

問題1. ユーザ同士で連絡先を交換する必要がある：メール、SNSアプリケーションや情報・デジタルメディアを送受信する既存研究[5][6][7]では、ユーザ同士で連絡先を交換しないと情報のやりとりができない。

問題2. 手間がかかる：情報を送受信する際にジェスチャを記憶・実行する方法[8]、情報共有用のURLをユーザが設定する方法[9]、情報共有のたびにユーザが同じ場所に集まる方法[10][11][12][13]は、情報を送受信する上で手間がかかる。

問題3. 特別な道具を使用する必要がある：大型ディスプレイ[10]、専用デバイス[14][15][16]を用いる方法は、情報を送受信するために特別な道具を用意しなければならない。

3. 研究課題

2章で述べた3つの問題を解決するために、我々は、電子情報を受け渡すシーンにおいて、紙をちぎって手渡すことで電子情報の受け渡しを可能にする方式の提案を行ってきた[1][2][3][4]。これは、ある紙を2片にちぎり分けたとき、各紙片の特徴が合致する性質を利用したアプローチであった。この方式を実現するための具体的な手段として、文字が印刷された紙（例：レシート）を利用していた。

我々の当初の実装[1][2][3]では紙のちぎり方は直線状である必要があった（図1）。しかし、この制約のもとでは、異なるユーザがちぎった無関係の紙片同士であっても紙の破れ目の特徴が似通ってしまうため、マッチング精度は一

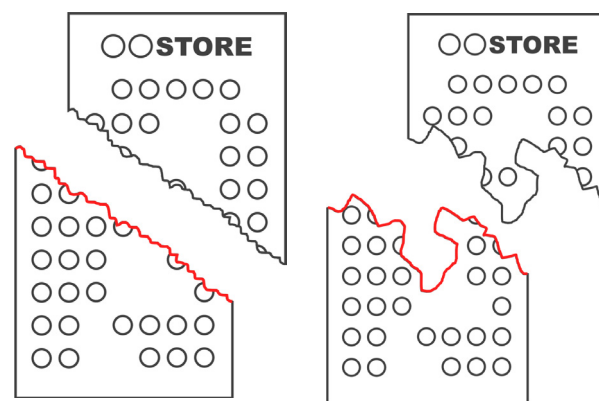


図1 直線状になるようなちぎり方 図2 自由なちぎり方

定の範囲で頭打ちとなっていた。

一方、図2のように自由に紙をちぎれるようにした改良版[4]は、従来の手法よりも高い、約50%の精度で紙片同士のマッチングを行うことができた。しかしながら、実際にユーザが本方式を電子情報の受け渡しに利用する場合を考えると、約50%というマッチング精度は実用的とは言い難い。紙をちぎり分け合った相手のものではない電子情報が誤って受け渡されてしまった場合などには、ユーザエクスペリエンスの損失につながると考えられる。

以上のことから本稿では、我々が提案してきた、自由に紙をちぎって手渡すことで電子情報の受け渡しを行う方式において、紙片同士のマッチング精度をさらに向上させることを研究課題として設定する。

4. 提案手法

我々が従来行っていたシステムの実装には、下記のような問題があり、これを改善することで紙片同士のマッチング精度を向上させることができるのではないかと考えた。第1に、従来の実装では、少し暗めの光環境下で撮影された紙片画像や、周囲の物体の影がかかり紙片部分が一部暗くなってしまう紙片画像などで、紙片画像から紙片部分のみを正しく抽出できないことがあった。第2に、紙片部分を抽出できている場合であっても、紙片の破れ目の両端点を検出するアルゴリズムが未洗練であったことから、紙片の破れ目の両端点を正しく検出できない紙片が散見されていた。

さらに、[4]にて紙をちぎる際の制約を変更し、破れ目の形状に制限がなくなったことによって生まれた特徴を利用することで紙片同士のマッチング精度を向上させることができるのではないかと考えた。[3]以前の、本方式における紙をちぎる際の制約は、“左上から右下に向かって、台形が2つできるように斜めにちぎる”であった。そのため、紙片の破れ目の左端が右端より常に上側の位置に存在し、加えて、破れ目上で最も高い位置にある点（以下、「最高点」）は常に破れ目の左端、最も低い位置にある点（以下、「最低点」）は常に破れ目の右端となっていた。しかし、[4]にて

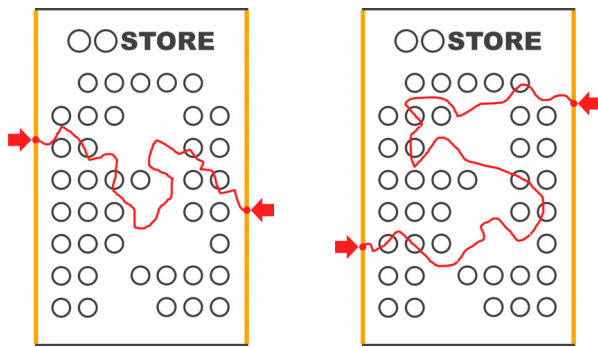


図 3 ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ左右の辺上にある

紙をちぎる際の制約を“ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ紙の左右の辺上に存在するようにちぎる”に変更し、破れ目の形状に制限がなくなったことにより、紙片の左端、右端の上下位置関係が、(1) 左端が上側、右端が下側、(2) 左端が下側、右端が上側、の 2 パターンに増加した。さらに、最高点と最低点が必ずしも破れ目の左端・右端ではなく、その左右位置関係も (1) 最高点が左側、最低点が右側、(2) 最高点が右側、最低点が左側、の 2 パターンが存在する。この「破れ目の両端の上下位置関係」「破れ目上の最高点と最低点の左右位置関係」は、ちぎり分けられた 2 つの紙片で一致するため、紙片同士のマッチングを行う際の特徴量として利用できると考えた。

以上より、我々は、3 章で設定した研究課題を、下記 3 点の改善を行うことで達成する。

改善点 1：多様な撮影環境下で撮影された紙片画像に対する画像処理のロバスト性を向上させる

改善点 2：紙片の破れ目部分の形状をより正確に検出できるようにする

改善点 3：新たな特徴量を導入し、紙片同士のマッチングの際に利用する

5. 実装

5.1 実装した画像処理上の制約

マッチングに使用する紙、および紙片の撮影方法に関して、下記のように紙の状態、ちぎり方、背景に関する制約を設ける。

- 紙はあまり劣化していない（破れていたり、ひどく折り目がついていたりしない）
- 紙はちぎり始め・終わりの点がそれぞれ紙の左右の辺上に存在するようにちぎる（図 3）
- 紙片の撮影時、背景に紙片と同色のものがあるべく写り込まないようにする

5.2 マッチングアルゴリズム

紙片同士のマッチングを行うアルゴリズムは下記の通りである。

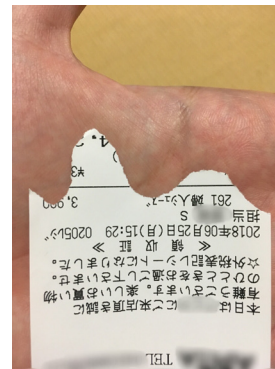


図 4 前処理前の元画像

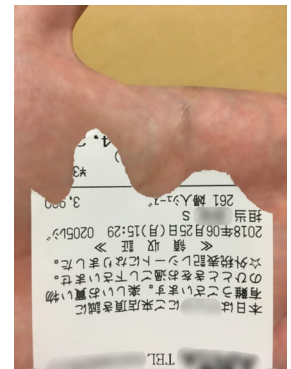


図 5 領域分割（減色）後

Step1：撮影した紙片画像に対し前処理を施し、紙片部分のみを抽出する

Step2：紙片部分のみを抽出した画像から、紙片の特徴量を抽出する処理を行う

Step3：抽出した特徴量と、あらかじめデータベースに登録されている紙片画像の特徴量との類似度を算出し、紙片同士のマッチング処理を行う

Step1, Step2 における画像処理には主に OpenCV を用いる。以降の節では各 Step の詳細を踏まえつつ、改善した実装内容について論じる。

5.3 前処理 1：紙片画像から紙片部分のみを抽出

紙片からマッチングに使用する特徴量を抽出するために、1 つ目の前処理として、従来と同様に、元画像（図 4 *1）から紙片部分のみを抽出（図 6）し、紙片内の文字や図形などの除去を行う（図 7）。

今回の実装では、より紙片部分を抽出しやすくするために、従来行っていた処理に加えて、紙片部分の抽出を行う前に Mean Shift 法 [17] を用いた領域分割を行う（図 5）。これにより画像中で使用される色数が減少し、紙片部分の色むらの影響が軽減されることで、紙片に多少影がかかっていた場合などでも紙片部分を抽出しやすくなり、4 章で述べた改善点 1 を満たすことができると考えられる。

5.4 前処理 2：紙片の破れ目部分の輪郭の抽出

2 つ目の前処理として、紙片の破れ目部分の輪郭の抽出を行う。はじめに、5.3 節の前処理 1 によって得られた、文字・図形除去後の紙片画像（図 7）に対し、Canny 法によるエッジ検出を行う。エッジとは、画像中の明るさ（濃淡）や色が急に変化している箇所のことである。文字・図形除去後の紙片画像では、紙片部分が白色、背景が黒色となっているため、エッジ検出を行うことで、白色と黒色の境目となる、紙片部分の輪郭を検出することができる（図 8）。次に、検出した紙片部分の輪郭から、紙片の破れ目部分の

*1 店名や電話番号など、場所が特定できてしまうような情報にはぼかしを入れている。他の画像も同様である。

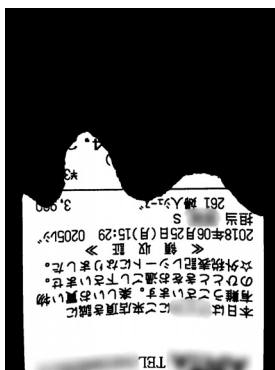


図 6 紙片部分の抽出後



図 7 文字・図形除去後

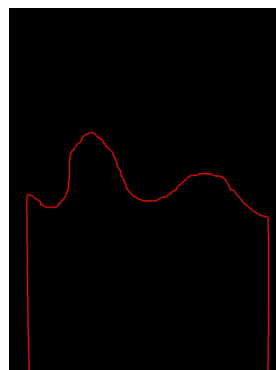


図 8 紙片部分の輪郭の検出

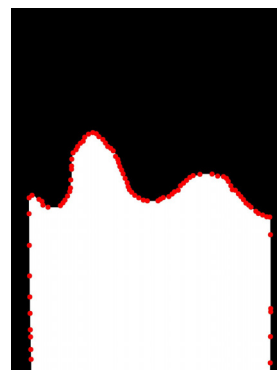


図 9 コーナー検出

輪郭を、下記のアルゴリズムで抽出する。

Step1: 文字・図形除去後の紙片画像に対し、コーナー（全方向に対して画素値の大きな変化が見られる箇所）検出を行う（図 9）

Step2: 文字・図形除去後の紙片画像に対し Hough 変換による直線検出を行う

Step3: Step2 で検出された直線のうち、紙片の左の辺付近に引かれている直線を抜き出す

Step4: Step1 で検出されたコーナー全てに対し、Step3 で抜き出した直線全てとの距離を算出し、 n 本以上の直線と一定距離以内にあるコーナーを破れ目の左端候補とする

Step5: 左端候補のうち、最も上部にあるものを破れ目の左端とする（図 10）

Step6: 破れ目の右端についても左端同様 Step3～Step5 を行い決定する

Step7: 紙片部分の輪郭を、破れ目の左端位置から右端位置にかけて追跡したものを、紙片の破れ目部分の輪郭とする（図 11）

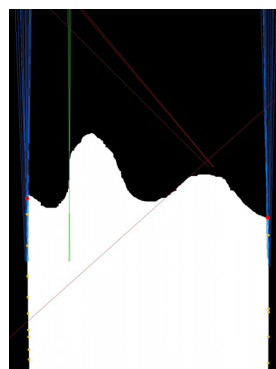


図 10 破れ目の両端点の検出

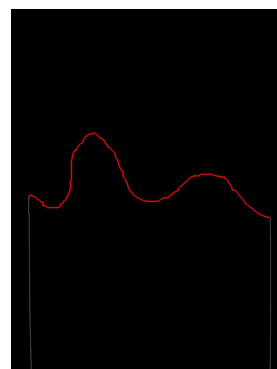
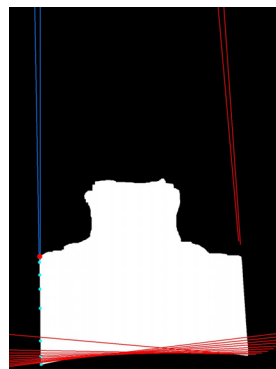


図 11 紙片の破れ目部分の輪郭



(1) 従来の実装（右端検出失敗） (2) 今回の実装（両端検出成功）
図 12 右边が曲がっている紙片画像からの破れ目の両端点の検出

従来の実装では、上記アルゴリズムの Step3～Step6 にあたる、破れ目の両端を検出する処理が未洗練であった。そのため、撮影された紙片の左右の辺が少し曲がっていた場合などには、破れ目の両端を正しく検出できないこともあり（図 12），結果として紙片の破れ目部分の輪郭を正しく抽出できないことがあった。今回の実装では、Hough 変換によって検出される直線は、紙片の左右の辺付近に密集するという性質を考慮した上で、破れ目の両端を抽出する処理（上記アルゴリズム Step3～Step6）を新たに実装し直した。これにより、従来の実装では破れ目の両端の検出に失敗していたいくつかの紙片についても、破れ目の両端を正しく検出できるようになり（図 12），結果として紙片の破れ目部分の輪郭を正しく抽出できるようになった。

以上のことから、紙片の両端点を検出する処理をより洗練させたことにより、4 章で述べた改善点 2 を満たすことができると考えられる。

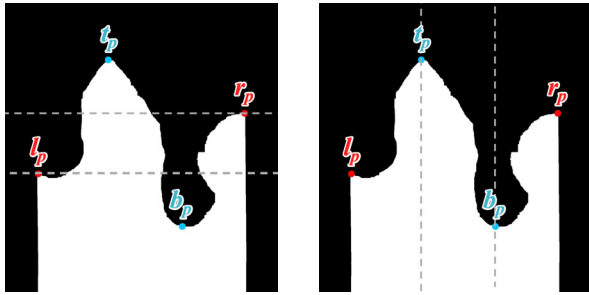
5.5 特徴量 f_p ：紙片の破れ目上の特定の 2 点の位置関係

本節では、4 章で述べた改善点 3 の、新たに導入する特徴量の抽出方法について説明する。

5.4 節で検出された、紙片の破れ目部分の輪郭（図 11）を構成する点群のうち、(1) 左端の点（以下、「左端 l_p 」）、(2) 右端の点（以下、「右端 r_p 」）、(3) 最も高い位置にある点（以下、「最高点 t_p 」）、(4) 最も低い位置にある点（以下、「最低点 b_p 」）、の 4 点を用いて、下記 2 つの位置関係をそれぞれ満たすか満たさないかの回答を、1（満たす）か 0（満たさない）でリストに格納する。

位置関係

- (1) 左端 l_p が右端 r_p よりも上側に位置するか
- (2) 最高点 t_p が最低点 b_p よりも左側に位置するか



(1) 左端 l_p と右端 r_p の上下位置関係
(2) 最高点 t_p と最低点 b_p の左右位置関係
図 13 紙片の破れ目上の特定の 2 点の位置関係

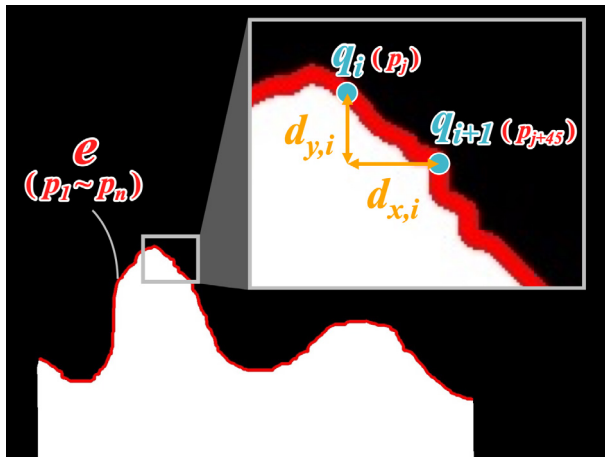


図 14 特徴量 f_e の抽出方法

図 13 の紙片画像を例にとると、「左端 l_p が右端 r_p よりも上側に位置するか」は 0 (満たさない)、「最高点 t_p が最低点 b_p よりも左側に位置するか」は 1 (満たす) であるため、 f_p は $[0,1]$ となる。上記 2 つの位置関係は、それぞれ 2 片にちぎり分けられた紙片同士で同じであるという性質を利用し、これらを特徴量 f_p (Position feature) とする。

以上のことから、新たな特徴量 f_p を導入することにより、4 章で述べた改善点 3 を満たすことができると考えられる。

5.6 特徴量 f_e : 紙片の破れ目の形状

5.4 節で検出された紙片の破れ目部分の輪郭を e とする (図 11)。 e を構成する n 個の画素を破れ目の左端から右端にかけて $p_1, p_2, \dots, p_n$ としたとき、 p_1 から p_n までの画素を一定数飛ばしで抽出したものを $q_1, q_2, \dots, q_m$ とする (今回の実装では事前検証に基づき 45 個飛ばしとした^{*2})。そして、 q_i と q_{i+1} との x 座標の差を $d_{x,i}$, y 座標の差を $d_{y,i}$ とし、 q_1 から q_m までの $d_{x,i}$, $d_{y,i}$ を算出したそれぞれの集合を D_x, D_y とし、これらを特徴量 f_e (Edge feature) とする (図 14)。

^{*2} 今回の事前検証では画素数 1080*1440 の画像を用いている。

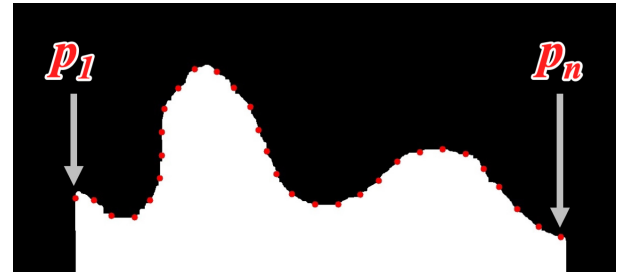


図 15 p_1 から p_n までの画素を 45 個飛ばしで抽出

5.7 マッチング候補の絞り込み

マッチングを行う際、入力紙片とマッチング候補紙片群の全ての紙片との f_e の類似度計算を行うと、計算処理時間が膨大になりユーザエクスペリエンスを低減させることになりかねない。そこで、相対的に高精度に検出しやすい f_p を、マッチング候補を絞り込むためのフィルタとして機能させる。

入力紙片の f_p と、マッチング候補紙片群の中の、ある紙片の f_p を比較し、全ての要素が一致した紙片にのみマッチング処理を行う。要素が 1 つでも異なっているものはマッチング候補紙片群から除外する。

以上より、下記 2 つの効果が期待できる。

- “破れ目の形状が似ているが f_p が異なる紙片”をマッチング候補から除外でき、誤マッチングが減少する
- 破れ目の形状が大きく異なる紙片とはマッチング処理 (5.8 節) が行われないようにすることで処理速度が向上する

5.8 紙片同士のマッチング

入力紙片の f_e を D_x, D_y , マッチング候補紙片群の中の、ある紙片の f_e を D'_x, D'_y とする。はじめに、 D_x と D'_x との類似度 s_x と、 D_y と D'_y との類似度 s_y を算出する。類似度 s_x, s_y は、 D_x, D_y の要素数が、画像内に写り込んだ紙片部分の大きさによって変化するため、要素数が異なる系列間の距離を算出可能な Dynamic Time Warping を用いて、下記の式で算出する。

$$s_x = 1/(1 + DTW(D_x, D'_x)) \quad (1)$$

$$s_y = 1/(1 + DTW(D_y, D'_y)) \quad (2)$$

その後、 s_x と s_y それぞれに係数 w_x, w_y をかけて重み付けを行い、その線形和 s_t がマッチング候補紙片群の中で最も高い紙片をマッチング結果とする。以上より、 s_t の算出式は下記ようになる。

$$s_t = w_x s_x + w_y s_y \quad (3)$$

また、上記の重み係数に関して、本稿では $w_x=1.0, w_y=5.0$ としているが、これは下記のような理由からである。

紙の破れ目は、我々が設けたちぎり方に関する制約により、左右どちらか一方の辺上から始まり、もう一方の辺上で終わる。そのため、紙片の左右方向、つまりシステム上での x 軸方向においては、破れ目上の点の x 座標の値は単調増加する場合が多々あり、対となる紙片ではない紙片との s_x が不当に高くなってしまう可能性があると考えられる。一方、紙片の上下方向、つまりシステム上での y 軸方向においては、我々が設けたちぎり方に関する制約による影響はほとんどなく、破れ目上の点の y 座標の値の変化は、破れ目の形状によって大きく異なると考えられるため、破れ目の形状が似ている紙片とのみ s_y が高くなると考えられる。よって、 s_x と s_y とでは、 s_y の方が紙片の識別性能により大きく関係していると考え、 s_x よりも大きい重み付けをしている。なお、 $w_x=1.0$ 、 $w_y=5.0$ という値は、システム開発時にいくつかの値を試した上で、おおむね適切であると著者が判断した値である。この値の妥当性は今後検証を重ねる必要がある。

6. 紙片同士のマッチング精度検証実験

6.1 実験の目的

本実験では、4章で導入した改善点1~3により、従来手法よりも紙片同士のマッチング成功率が向上したかどうかを検証することを実験の目的とする。

6.2 実験条件

本実験では92組(184枚)の紙片画像を使用してマッチング成功率の検証を行う。実験に使用する紙片は、20代の大学生10名(男性7名、女性3名)に“ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ紙の左右の辺上に存在するようにちぎってください”と指示し、被験者に自由な形でちぎってもらうことで作成した。また、本システムは不特定多数のユーザが様々なシーンで利用することが考えられるため、作成された紙片の撮影についても下記のような指示のもと、20代の大学生5名(男性4名、女性1名)に行わせた。

撮影条件1: 紙片は手のひらの上に乗せる

撮影条件2: 背景に紙片と同色のものなるべく写り込まないようにする

撮影条件3: 紙片の左右の辺がなるべくまっすぐになるようにする

撮影条件1については、実際にユーザがシステムを利用するシーンを想定し設定したものである。撮影条件2, 3については、システムがマッチングに使用する特徴量を正しく算出しやすくするために設定した。

マッチング成功率の比較対象としては、4章で述べた3つの改善点を適用前の従来手法[4]を利用する。

6.3 実験手順

マッチング成功率は、従来手法、提案手法ともに下記の手順で算出する。

手順1: 用意した92組の紙片から無作為に N 組を抜き出す

手順2: 抜き出した紙片 N 組 ($N*2$ 枚) を、上側の紙片(以下、「upper」) N 枚と下側の紙片(以下、「lower」) N 枚の、2つのグループに分ける

手順3: upper N 枚をシステムのデータベースに登録する

手順4: データベースに登録されている upper N 枚に対し、lower N 枚でマッチングを行う

手順5: 手順3~4を upper と lower を入れ替えて再度行う

手順6: upper でマッチングを行った結果と lower でマッチングを行った結果の両方で、対となる紙片がマッチング結果となった場合、その紙片はマッチング成功とする

手順7: 紙片 N 組のうちマッチングが成功した紙片の割合をマッチング成功率とし、これを算出する

手順8: 手順1~7を5回繰り返し、5回分のマッチング成功率を算出する。

本実験では、 N を 10, 20, ..., 90 と変化させ、10組ずつデータベースを増やしていった際の、各組数におけるマッチング成功率を算出する。

6.4 結果・考察

実験の結果を図16に示す。従来手法と提案手法間で、各組数の5回分のマッチング成功率に対して、対応のある t 検定を行ったところ、30組では5%水準、40組から90組では1%水準で有意差を確認できた。よって提案手法では、4章で導入した改善点1~3により、従来手法よりも紙片同士のマッチング精度が向上したと考えられる。

この結果が得られた理由を、実際に実験で使用したある紙片に対して、各手法が特徴量を抽出するために処理を行った結果画像をもとに考察する。従来手法によって紙片の特徴量を抽出する処理を行った結果画像を見ると、図17のように、正しく破れ目の輪郭が検出できず、紙片の特徴量が正しく抽出できていなかった。一方、提案手法によって紙片の特徴量を抽出する処理を行った結果画像を見ると、図18のように、提案手法では破れ目の輪郭が正しく検出できている。そのため、紙片の特徴量を正しく抽出することが可能となり、紙片同士のマッチング精度が向上したと考えられる。

7. おわりに

我々は、電子情報を受け渡すシーンにおいて、連絡先を交換することなく情報の受け渡しを行う方法として、紙をちぎって手渡すことで電子情報を受け渡す方式を提案し

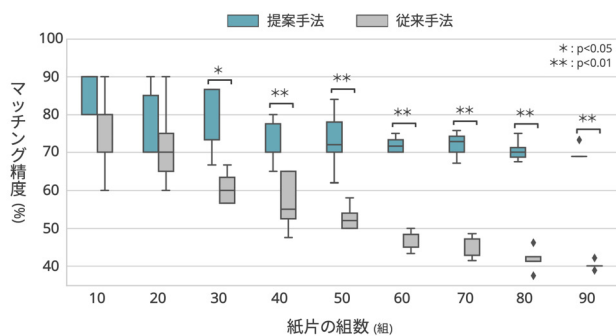


図 16 実験結果

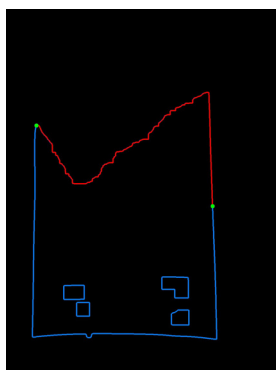


図 17 従来手法による
破れ目の輪郭検出失敗例

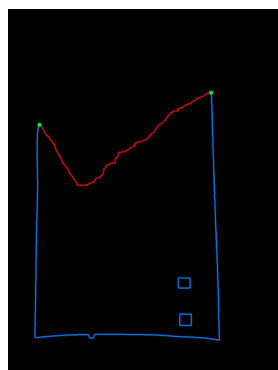


図 18 提案手法による
破れ目の輪郭検出成功例

てきた。本稿では、紙片同士のマッチング精度を向上させるために、紙片の特徴量を抽出する処理の改良と、新たな特徴量の導入を行った。検証実験では、従来手法よりも高い精度で紙片同士のマッチングを行うことができた。今後は、さらなるマッチング精度の向上を目指していきたい。例えば、[1][2][3] で使用していた、紙片に印刷された文字を活用した特徴量を、自由に紙をちぎった場合でも抽出できるようにしていく予定である。また、マッチング精度向上後、実際にユーザに本システムを利用してもらい、本システムの受容性についても検証していく予定である。

参考文献

- [1] 呉健朗, 玉城和也, 中村仁汰, 宮田章裕: 紙をちぎることで電子情報を手渡すインタラクション方式の基礎検討, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, pp.1493-1499 (2017).
- [2] 玉城和也, 呉健朗, 中村仁汰, 富永詩音, 宮田章裕: 紙をちぎることで電子情報を手渡すインタラクション方式の実装, インタラクション 2018 論文集, pp.615-619 (2018).
- [3] 呉健朗, 富永詩音, 宮田章裕: 紙をちぎることで電子情報を手渡すインタラクション方式の実用性検証, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp.1770-1776 (2018).
- [4] 富永詩音, 呉健朗, 立花巧樹, 宮田章裕: 自由に紙をちぎって電子情報を手渡すインタラクション方式の基礎検討, (2018 年 11 月発表予定)
- [5] 神武里奈, 星野准一: AirMeet: 懇親会の目的に応じた個人情報の一時的共有によるコミュニケーション支援システム, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータ

- インタラクション (HCI), Vol.2017-HCI-172, No.11, pp.1-8 (2017).
- [6] 閑野伊織, 田中二郎: イベント開催前から開催後まで一連の流れに沿ってコミュニケーションを支援するシステム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp.56-63 (2013)
- [7] 角康之, 伊藤惇, 西田豊明: PhotoChat: 写真と書き込みの共有によるコミュニケーション支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1993-2003 (2008).
- [8] 富永詩音, 呉健朗, 篠崎涼太, 多賀諒平, 宮田章裕: ジェスチャを真似て電子情報を楽しむ受け取る手法の実装と評価, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp.1341-1348 (2018).
- [9] 山本伶, 増井俊之, 安村通晃: Sonoba.org: その場限定の情報共有システム, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol.2013-HCI-152, No.18, pp.1-8 (2013).
- [10] 土佐伸一郎, 田中二郎: SmARt Projection: モバイル端末内データを共有するための情報提示システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2011 論文集, pp.565-575 (2011).
- [11] Andres Lucero, Jussi Holopainen, and Tero Jokela: Pass-Them-Around: Collaborative Use of Mobile Phones for Photo Sharing, In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1787-1796 (2011).
- [12] 米澤拓郎, 中澤仁, 永田智大, 徳田英幸: Vinteraction: スマート端末のための振動を利用した情報送信インタラクション, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1498-1506 (2013).
- [13] 池松香, 椎尾一郎: 記憶の石: マルチタッチを利用したデバイス間情報移動, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.4, pp.1344-1352 (2014).
- [14] James Clawson, Amy Volda, Nirmal Patel, and Kent Lyons: Mobiphos: A Collocated-Synchronous Mobile Photo Sharing Application, In Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services, pp.187-195 (2008).
- [15] Jun Rekimoto: Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, In Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 1997), pp.31-39 (1997).
- [16] Toshihiro Nakae, Shiro Ozawa, and Naoya Miyashita: O-link: augmented object system for intergenerational communication, In SIGGRAPH' 10 ACM SIGGRAPH 2010 Posters (2010).
- [17] Comaniciu, D. and Meer, P.: Mean Shift: A Robust Approach toward Feature Space Analysis, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.25, No.5, pp.603-619 (2002).