

# 紙をちぎって電子情報を手渡すコミュニケーションシステム

富永 詩音<sup>1</sup> 呉 健朗<sup>1</sup> 伊藤 貴之<sup>2</sup> 宮田 章裕<sup>3,a)</sup>

受付日 2019年4月19日, 採録日 2019年11月7日

**概要:** スマートフォンやタブレット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する. 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.

**キーワード:** 情報送受信, 紙片, 電子情報, マッチング, コミュニケーション, 実世界指向インタフェース

## A Communication System for Transferring Electronic Information by Tearing a Sheet of Paper

SHION TOMINAGA<sup>1</sup> KENRO GO<sup>1</sup> TAKAYUKI ITOH<sup>2</sup> AKIHIRO MIYATA<sup>3,a)</sup>

Received: April 19, 2019, Accepted: November 7, 2019

**Abstract:** With the spread of electronic devices such as smartphones and tablets, the transfer of electronic information such as images and videos has become commonplace. To exchange electronic information using e-mail or social network services a sender needs to know the recipient's contact information. However, if the recipient is a newly-encountered person or an ad hoc partner, a significant number of them are reluctant to exchange contact details. To address this issue, we propose a communication system for transferring electronic information by tearing a sheet of paper. This is an approach that utilizes the fact that when a piece of paper is torn into two pieces, the features of the torn edges of the two pieces match.

**Keywords:** transferring information, piece of paper, electronic information, matching, communication, real-world oriented interface

### 1. はじめに

スマートフォンやタブレット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日常的に行われるようになった. そしてときには, “ツアー参加時に撮った集合写真を他のツアー客に送る”, “結婚式のセレモニーを撮影した動画を他の参列者に送る”, といったような, 初対面

の相手との電子情報の受け渡しを行う必要に迫られる場面もある. このような初対面の相手との電子情報の受け渡しに際して, 電子メール, SNS, あるいは他の既存方式などを利用することが考えられる. しかし, これらの方式を用いる場合, 個人を特定可能な ID や連絡先をユーザ間で交換する必要がある, 電子情報の受け渡しをその場で行う必要がある, といった問題が存在する. 初対面の相手にいきなり個人情報を渡すのは抵抗があるだろうし, 電子情報の受け渡しについても後でじっくりと考えてから選別したものを相手に渡したいと思うこともあるだろう.

この状況に鑑み, 我々は, 初対面の相手と気軽に電子情報の受け渡しを行える環境を提供することを目的に, 紙をちぎって電子情報を手渡すコミュニケーションシステムを提案してきた [1], [2], [3], [4], [5].

<sup>1</sup> 日本大学大学院総合基礎科学研究科  
Graduate School of Integrated Basic Sciences, Nihon University, Setagaya, Tokyo 156-8550, Japan

<sup>2</sup> お茶の水女子大学  
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112-8610, Japan

<sup>3</sup> 日本大学文理学部  
College of Humanities and Sciences, Nihon University, Setagaya, Tokyo 156-8550, Japan

a) miyata.akihiro@acm.org



図 1 提案方式利用時の様子

Fig. 1 Example of proposed method usage.

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(図1:1番, 2番). このとき送信者が持つ紙片を  $k_s$ , 受信者が持つ紙片を  $k_r$  とする. 送信者は受け渡す電子情報を選択したのちに  $k_s$  をカメラで写し,  $k_s$  の破れ目部分の特徴と電子情報とを結び付ける(図1:3番). 受信者は  $k_r$  をカメラで写すことで,  $k_r$  と破れ目の特徴が合致する紙片  $k_s$  に結び付けられた電子情報にアクセスできる(図1:4番). 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.

本稿では, 提案方式の概念を実装したシステムを構築し, 提案アルゴリズムにおける紙片どうしのマッチング精度について基礎的な検証実験を行った結果について論じる.

本稿の貢献は下記のとおりである.

- 初対面の相手と電子情報を受け渡すシーンにおいて, 紙をちぎって電子情報を手渡す新しいコミュニケーションシステムを提案したこと
- 紙片どうしのマッチング精度に関する基礎的な検証実験を行い, 紙片どうしのマッチングには紙片の破れ目の形状から得られる特徴量だけでなく他の特徴量も必要となる可能性があることを示したこと

## 2. 関連研究

本章では, ユーザが電子情報の受け渡しを行う方式に関する研究事例について述べる. 2.1 節では, ユーザ同士の連絡先の交換が必要である方式に関する研究事例について紹介する. 2.2 節では, ユーザ同士の連絡先の交換が不要な方式に関する研究事例について紹介する.

### 2.1 連絡先を交換して電子情報の受け渡しを行う方式に関する研究事例

連絡先を交換して電子情報を受け渡す研究としては, 文献 [6], [7] があげられる.

AirMeet [6] は, 懇親会で配布されるネームプレートの機能を拡張したスマートフォンアプリケーションである. 懇親会の会場内に限定して一時的に個人情報を共有し, コ

ミュネーションを支援するシステムとなっている. 会場内で出会って気に入った相手とは, SNS と連携されたプロフィール情報の交換などが行える.

文献 [7] は, 初対面の相手とコミュニケーションを行う場面において, 相手との「共通点」を, イベント開催前, 開催中, 開催後のそれぞれの場面において提示することで, コミュニケーションを支援するシステムである. 「共通点」の取得には, SNS から取得したプロフィール情報とスマートフォンから取得した位置情報を利用している.

### 2.2 連絡先を交換せずに電子情報の受け渡しを行う方式に関する研究事例

連絡先を交換せずに電子情報を受け渡す研究としては, 文献 [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16] があげられる.

Sonoba.org [8] は, その場限定で匿名で情報を共有できるシステムである. 時間制限付きの URL をその場にいる人で共有することにより, 連絡先を交換せずにその場限りの情報共有を可能としている.

SmARt Projection [9] では, 同じ空間を利用する人々とのモバイル端末内データの円滑な共有を行うためのシステムで, ふだんから過ごす空間の壁面をデータの共有スペースとし, 壁面の任意の位置にモバイル端末内のデータを貼り付けることができる. 掲示されたデータは各人が所有するモバイル端末で閲覧・取得できる.

Pass-Them-Around [10] は, 同一箇所に集まったグループ内での写真共有・閲覧システムである. このシステムでは写真を他のユーザに向けて“投げる”ジェスチャを行ったり, 携帯電話自体を傾ける動作を行ったりすることで閲覧することができる.

Vinteraction [11] は, スマートフォンやタブレットなどのスマート端末を2台重ねて置き, 端末のバイブレーション機能を利用して情報を受け渡す手法である. この手法ではまず送信側端末で情報を振動としてエンコードし, バイブレータを用いて振動させる. 次に, 送信側端末の振動を受信側端末の加速度センサで検知しデコードを行うことで, 情報が受け渡される.

記憶の石 [12] は, 情報端末間で直感的な動作を使って情報の受け渡しを行うシステムである. 送信側のスマートフォンやタブレット PC で開いている web サイトを, 複数の指を使ってつまみ上げる動作を行い, 受信側のスマートフォンやタブレット PC に置く動作を行うことで, 受信側も同じ web サイトを開くことができる.

Transmimic [13] は, ユーザが娯楽を楽しみながら電子情報の受け渡しを行うシーンにおいて, 楽しさを感じながら電子情報の受け渡しを行えるシステムである. 送信者が自らジェスチャを考案し, 引き渡したい電子情報をジェスチャと結び付けた後, 送信者が行ったジェスチャを受信者が真似ることで電子情報を受け取ることができる.

Mobiphos [14] は、デジタルカメラに搭載するアプリケーションである。撮影した写真がグループ内で自動的に共有され、グループでの行動中に各々が撮影した写真がビューファインダーに表示される。これによって、グループのメンバーが写真を通したコミュニケーションをとることができる。

Pick-and-Drop [15] は、ペン型デバイスを用いて異なるコンピュータ間で情報の送受信を行うシステムである。ペンでコンピュータ画面のデータを選択した後、他のコンピュータ画面にペンを接触させるとデータを移動できる。

O-Link [16] は、動画ファイルを物理世界オブジェクトの形状に関連付けて、専用のデバイスの上にオブジェクトを置くことで動画を再生できるシステムである。

### 3. 研究課題

スマートフォンやタブレット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日常的に行われるようになった。昨今、職場の同僚や友人、家族などと、電子メールや SNS で画像や動画などを送り合うことは珍しくない。しかし、ときには初対面の相手と電子情報の受け渡しを行う必要に迫られる場面もあるだろう。たとえば下記のような例があげられる。

- ツアー参加時に撮った集合写真を他のツアー客に送る。
- 結婚式のセレモニーを撮影した動画を他の参列者に送る。
- 企業の説明会で映されたスライドを撮影した写真を他の参加者に送る。

このような初対面の相手との電子情報の受け渡しにおいても、電子メール、SNS、あるいは他の既存方式などを利用することが考えられる。しかし、これら既存の方式を用いる場合、初対面の相手と電子情報の受け渡しを行うにあたって、心理的ハードルとなるであろういくつかの問題が存在する。

1つ目の問題として、ユーザ間での連絡先の交換が必要であるという点があげられる。ユーザが互いに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だろう。しかし、初対面で出会って間もない相手といきなり連絡先を交換することは抵抗を感じるユーザは多いと考えられる。そのため、初対面の相手と電子情報の受け渡しを行うシーンにおいて、電子メール、SNS、あるいは文献 [6], [7] に記載の方式のような、ユーザ間で連絡先の交換を必要とする手段を用いるのは問題があると考えられる。

2つ目の問題として、連絡先の交換が不要な方式では、電子情報の受け渡しをその場で行う必要があるという点があげられる。受け渡そうとしている電子情報は本当に初対面の相手に受け渡しても大丈夫なものなのか、すぐには判断がつかない場合、電子情報をその場ではなく後で受け渡したいと感じるユーザは少なくないと考えられる。そのため、初対面の相手と電子情報の受け渡しを行うシーンにおいて、AirDrop [17], Near Share [18], 文献 [9], [10], [11], [12]

のような、電子情報の受け渡しをその場で行う必要がある方式を用いるのは問題があると考えられる。

上述の問題をふまえ、本研究では、初対面の相手と電子情報の受け渡しを行うシーンにおいて、下記2つの要件を満たす、電子情報の受け渡し方式の確立を研究課題として設定する。

要件 1：ユーザ間での連絡先の交換を必要としない。

要件 2：電子情報の受け渡しを非同期的に行うことができる。

### 4. 提案方式

3章で述べた問題を解決するために、先行研究では、初対面の相手と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], [5]。これは、ある紙を2片にちぎり分けたとき、各紙片の破れ目付近の特徴が合致するという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  $k_s$ 、受信者が持つ紙片を  $k_r$  とする。送信者は受け渡す電子情報を選択したのちに  $k_s$  をカメラで写し、 $k_s$  の破れ目部分の特徴と電子情報とを結び付ける。受信者は  $k_r$  をカメラで写すことで、 $k_r$  と破れ目の特徴が合致する紙片  $k_s$  に結び付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。

これにより、3章で述べた2つの要件を満たすことができると考えられる。要件1については、ユーザは紙片を渡すだけで電子情報の受け渡しが行えるので、連絡先の交換を行う必要はない。要件2については、電子情報の受け渡しは紙片の破れ目を撮影することで行うため、紙をちぎったその場ですぐ紙片を撮影して同期的に受け渡すこともでき、ちぎった紙片を保持しておき後で撮影することで非同期的に受け渡すこともできる。

既存方式と提案方式を比較したものを表1に示す。要件1（連絡先交換の要否）の観点では、メール・SNSには連絡先交換が必要であるというデメリットがある。要件2（非同

表 1 既存方式と提案方式の比較

Table 1 Comparison of existing methods and the proposed method.

方式	連絡先の交換	同期的な受け渡し	非同期的な受け渡し
メール	要	可	可
SNS	要	可	可
紙に直接記入	不要	可	不可
QR コード	不要	可	不可
AirDrop	不要	可	不可
提案方式	不要	可	可

期的な受け渡し)の観点では、紙に直接記入・QRコード・AirDropには非同期的な受け渡しが不可能であるというデメリットがある。このように、情報の受け渡しを行うコミュニケーションシーンにおいて、提案方式だけが要件1・2を同時に満たすことができ、新規性・有用性があるといえる。

## 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2)。
- 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 アルゴリズム

紙片どうしのマッチングを行うアルゴリズムは下記のとおりである。

**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、紙片どうし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。各Stepの詳細な実装内容については以降の節で論じる。

### 5.3 前処理1: 紙片画像から紙片部分のみを抽出

1つ目の前処理として、元画像(図3<sup>\*1</sup>)から紙片部分と背景の分離、および紙片内の文字の除去を行い、紙片部

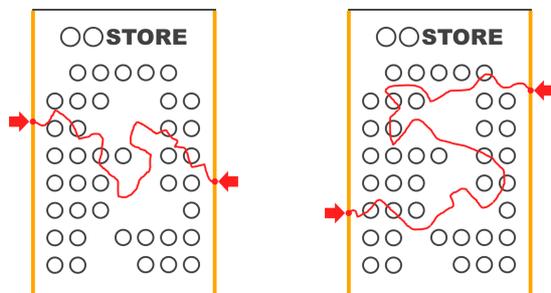


図2 ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ左右の辺上にある

Fig. 2 Points at the beginning and the end of a torn edge are located on the left and right sides.

\*1 店名や電話番号のような、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。

分のみを抽出する。はじめに、元画像に対してMean Shift法[19]を用いた領域分割を行う(図4)。これにより画像中で使用される色数が減少し、次に行う2値化処理において紙片部分の色むらの影響が軽減される。続いて、画像の色空間をHSV(Hue, Saturation, Value・Brightness)に変換し(図5)、HSV変換後の画像を“紙片の色をもとにHSV値で範囲指定した色の範囲”に基づいて2値化(濃淡のある画像を白と黒の2階調に変換する処理)することで、紙片部分と背景の分離を行う(図6)。また、2値化後の画像では紙片内に文字が存在するが、文字は2値化によって紙片の背景部分と同色(黒色)になっているため、破れ目によって分断されている文字と紙片の背景部分と



図3 前処理前の元画像

Fig. 3 Original image.

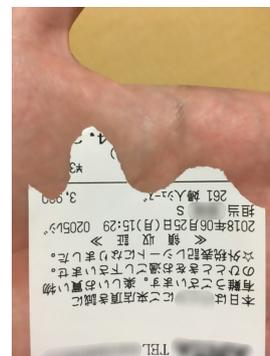


図4 領域分割(減色)後

Fig. 4 After segmentation.

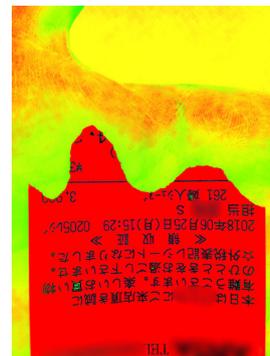


図5 色空間変換後

Fig. 5 After color space conversion.

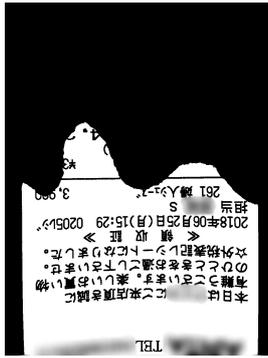


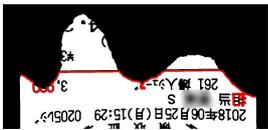
図 6 2 値化後

Fig. 6 After binarization.



図 9 文字除去後

Fig. 9 After character removal.



(1) 文字未除去



(2) 文字除去済

図 7 破れ目部分の輪郭抽出時における文字部分の影響

Fig. 7 Influence of characters during extraction of outline of torn edge.



図 8 膨張 (Dilation) 処理直後

Fig. 8 After dilation processing.

を区別することは難しい。そのため、紙片内に文字が存在する状況で破れ目の輪郭を抽出しようとする時、図 7 の (1) のように、破れ目上の分断された文字が、破れ目の一部であると判定されてしまい、正しく破れ目の輪郭を抽出することが難しい。そこで最後に、2 値化後の画像に膨張 (Dilation)・収縮 (Erosion) 処理を施し、紙片内の文字を除去する (図 9)。膨張・収縮処理とは、2 値化された画像の白色領域を増大・減少させる処理である。本実装では、図 8 のように複数回膨張させたあと、同じ回数だけ収縮させることで、白領域中に存在する黒領域をあらかじめ除去することができる。Closing とよばれる処理を施している。

#### 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、文字除去後の紙片画像 (図 9) に対し、Canny 法によるエッ

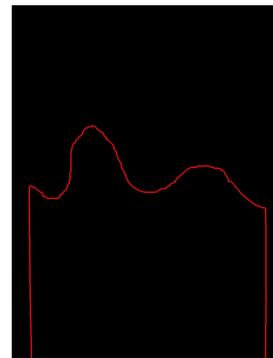


図 10 紙片部分の輪郭の検出

Fig. 10 After extracting the outline of a piece of paper.



図 11 コーナ検出

Fig. 11 After corner detection.

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 10)。次に、検出した紙片部分の輪郭から、紙片の破れ目部分の輪郭を、下記のアプローチで抽出する。

**Step1:** 文字除去後の紙片画像に対し、コーナ (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 11)。

**Step2:** 文字除去後の紙片画像に対し Hough 変換 [20] による直線検出を行う。

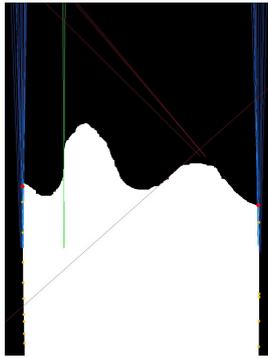


図 12 破れ目の両端点の検出

Fig. 12 After detecting both ends of a torn edge.

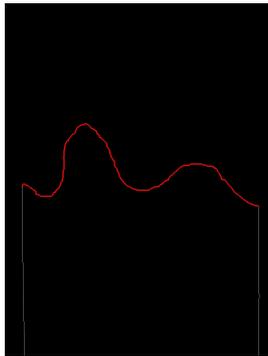


図 13 紙片の破れ目部分の輪郭

Fig. 13 After extracting the outline of a torn edge.

**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すべてに対し、Step3 で抜き出した直線すべ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 12)。

**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 13)。

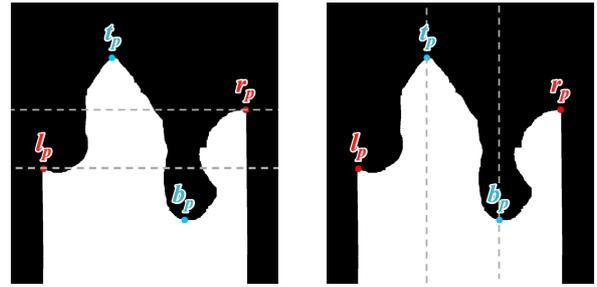
## 5.5 紙片の特徴量の抽出

### 5.5.1 特徴量 $f_p$ : 破れ目上の特定の 2 点の位置関係

5.4 節で検出された、紙片の破れ目部分の輪郭 (図 13) 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。



(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 14 紙片の破れ目上の特定の 2 点の位置関係

Fig. 14 The positional relationship between two specific points on a torn edge.

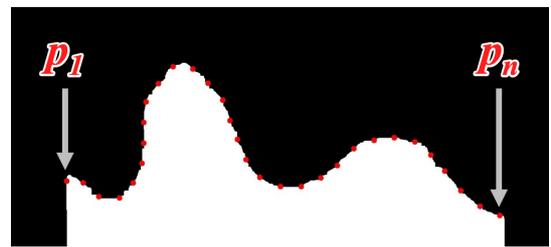


図 15  $p_1$  から  $p_n$  までの画素を 45 個飛ばして抽出

Fig. 15 Extract pixels from  $p_1$  to  $p_n$  by skipping 45 pixels.

(2) 最高点  $t_p$  が最低点  $b_p$  よりも左側に位置するか。

図 14 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どうして同じであるという性質を利用し、これらの特徴量  $f_p$  (Position feature) とする。

### 5.5.2 特徴量 $f_e$ : 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 13)。 $e$  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て抽出したものを  $q_1, q_2, \dots, q_m$  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 (図 15))。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、これらの特徴量  $f_e$  (Edge feature) とする (図 16)。

## 5.6 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すべての紙片とで  $f_e$  の類似度計算を行うと、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かねない。

\*2 今回の事前検証では画素数  $1,080 \times 1,440$  の画像を用いている。45 個飛ばしにした際の画素間の距離は典型的には  $60 \sim 80$  px 程度となる。

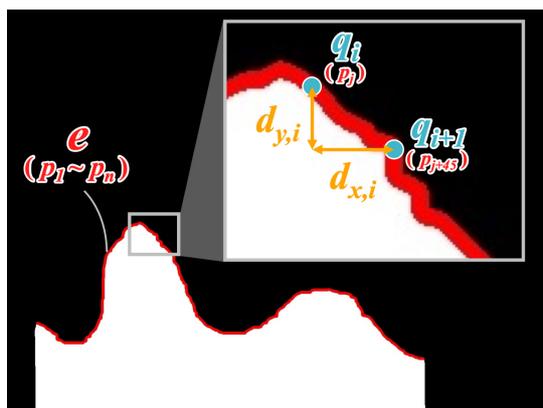


図 16 特徴量  $f_e$  の抽出方法  
Fig. 16 How to extract feature quantity,  $f_e$ .

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なかの、ある紙片の  $f_p$  を比較し、すべ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(5.7節)が行われなくなり、処理速度が向上する。

### 5.7 紙片どうしのマッチング

入力紙片の  $f_e$  を  $D_x, D_y$ 、マッチング候補紙片群のなかの、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。ここで類似度  $s_x, s_y$  を求めるにあたって、 $D_x, D_y$  ( $D'_x, D'_y$ ) の要素数は、画像内に写っている紙片部分の大きさに応じて変化するということを考慮する必要がある。紙片が多様な環境下で撮影されるならば、 $D_x$  と  $D'_x$  の要素数、および  $D_y$  と  $D'_y$  の要素数は基本的には異なるだろう。この場合、2つの系列間の距離尺度として馴染み深いユークリッド距離などは適用することができない。そこで類似度  $s_x, s_y$  については、要素数が異なる2つの系列間の距離を算出可能な Dynamic Time Warping (以下、「DTW」)を用いて算出する。具体的には、ある2つの系列  $D$  と  $D'$  との DTW 距離を  $DTW(D, D')$  とし、下記の式で  $s_x$  と  $s_y$  を算出する。

$$s_x = \frac{1}{1 + DTW(D_x, D'_x)} \quad (1)$$

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

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なか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 경우가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ふ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うえで、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も検証を重ねる必要がある。

## 6. 紙片どうしのマッチング精度検証実験

### 6.1 実験の目的

本研究では、典型的な利用シーンを設定し、提案方式の有用性を総合的に検証する必要がある。ただし、これらの検証を進めるためには、まずは提案システムにおいて紙片どうしのマッチングが正しく行われる割合について検証しておく必要がある。よって本実験では、提案システムにおける紙片どうしのマッチング成功率についての基礎的な検証を行うことを実験の目的として設定する。

### 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、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の利用が想定されるため、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。このとき、対となる紙片は同じ人が撮影した。また、全撮影者は同等の環境(明るい屋内)で撮影を行った。

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があるべく写り込まないようにする。

**撮影条件 3**：紙片の左右の辺があるべくまっすぐ写るようにする。

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抽出しやすくするために設定した。

各紙片の破れ目の輪郭パターンにどの程度のばらつきがあるかについて、輪郭の複雑さに関する統計情報として、自身とペアの紙片との DTW 距離の平均値、中央値、標準偏差は、104.9, 85.5, 101.6 であった。一方、92 枚の紙片のうち自身とペアの紙片を除いた 91 枚の紙片からランダムで抜き出した 20 枚との DTW 距離の平均値、中央値、標準偏差は、248.0, 137.0, 294.6 であった。このように、各紙片の破れ目の輪郭パターンには十分なばらつきがあった。

### 6.3 実験手順

紙片どうしのマッチング成功率は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 回繰り返す、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 17 に示す。提案システムは、およそ 70% の精度でマッチングを行うことができている。しかし、本方式が日常生活でのコミュニケーションシーンにおいて電子情報を受け渡す手段として利用されることを想定すると、より高いマッチング精度が求められるだろう。

現在の紙片どうしのマッチングは、紙片の破れ目の形状から得られる特徴量のみを用いて行っている。ところが今回の実験結果から、紙片の破れ目の形状から得られる特徴

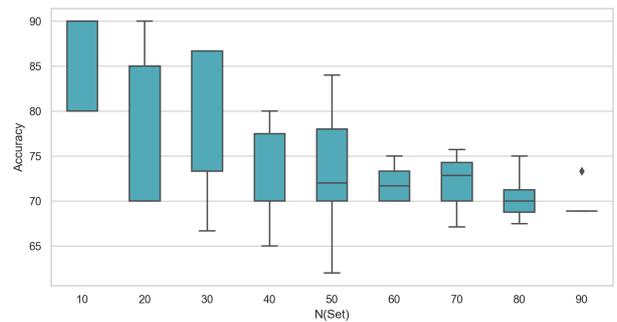


図 17 実験結果

Fig. 17 Matching success rates.

量のみでは、現在のアルゴリズムにおいてはペアとなる紙片を一意に特定することは難しく、いずれマッチング精度は一定の範囲で頭打ちとなってしまう可能性があると考えられる。

よって今後は、紙に書かれた文字情報などから特徴量を抽出しマッチングに利用できるようにするなどして、さらなるマッチングアルゴリズムの改善を行う必要がある。

また、本方式の応用的な利用方法として、紙に対し、折り目を付ける、ペンで線や文字を書く、といったような情報の付加をあらかじめ行ったうえでちぎることが考えられる。これにより紙片を識別するための特徴が増え、マッチング精度の向上につながる事が期待できると同時に、ちぎり分け合った人との仲間意識を醸成するはたらきなども期待でき、本方式のインタラクション研究としての新たな方向性も示唆される。

## 7. おわりに

本稿では、初対面の相手と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非同期的に情報の受け渡しを行える方法として、紙をちぎって手渡すことで電子情報を受け渡す方式の提案を行った。検証実験では、従来手法よりも高い精度で紙片どうし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。たとえば、文献 [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や、どの程度の性能や要件であれば実用的なシステムとなりうるか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, インタラクシオン 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オ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オン方式の基礎検討, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2018 論文集, Vol.2018, pp.1–7 (2018).
- [5] 富永詩音, 呉 健朗, 伊藤貴之, 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オン方式の提案, 情報処理学会インタラクシオン 2019 論文集, pp.75–81 (2019).
- [6] 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オン (HCI), Vol.2017-HCI-172, No.11, pp.1–8 (2017).
- [7] 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).
- [8] 山本 倫, 増井俊之, 安村通晃: Sonoba.org: その場限定的情報共有システム, 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オン (HCI), Vol.2013-HCI-152, No.18, pp.1–8 (2013).
- [9] 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揭示システム, 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).
- [10] Andrés, L., Jussi, H. and Tero, J.: Pass-Them-Around: Collaborative Use of Mobile Phones for Photo Sharing, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1787–1796 (2011).
- [11] 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オン, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1498–1506 (2013).
- [12] 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).
- [13] 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く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).
- [14] James, C. Amy, V., Nirmal, P. and Kent, L.: Mobiphos: A Collocated-Synchronous Mobile Photo Sharing Application, *Proc. 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pp.187–195 (2008).
- [15] Rekimoto, J.: Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, *Proc. 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 1997)*, pp.31–39 (1997).
- [16] Nakae, T., Ozawa, S. and Miyashita, N.: O-link: Augmented object system for intergenerational communication, *SIGGRAPH '10 ACM SIGGRAPH 2010 Posters* (2010).
- [17] Apple: AirDrop, available from (<https://support.apple.com/en-us/HT204144>) (accessed 2019-07-30).
- [18] Microsoft: Near Share, available from (<https://support.microsoft.com/en-us/help/4091344/windows-10-share-things-with-nearby-devices>) (accessed 2019-07-30).
- [19] 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).

- [20] Ballard, D.H.: Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes, *Pattern Recognition*, Vol.13, No.2, pp.111–122 (1981).



富永 詩音 (学生会員)

2019年日本大学文理学部情報科学科卒業。同年同大学大学院総合基礎科学研究科博士前期課程に進学、現在に至る。2018年情報処理学会 DICOMO2018 最優秀プレゼンテーション賞。ヒューマンコンピュータインタラクシオンの

研究に従事。



呉 健朗 (学生会員)

2018年日本大学文理学部情報科学科卒業。同年同大学大学院総合基礎科学研究科博士前期課程に進学、現在に至る。2017年VR学会サイバースペース研究賞, 2018年情報処理学会 GN 研究賞, 山下記念研究賞。ヒューマン

コンピュータインタラクシオンの研究に従事。



伊藤 貴之 (正会員)

1990年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1992年同大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了, 同年日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所研究員。1997年早稲田大学で課程外で博士(工学)。2003年京都

大学大学院情報学研究科 COE 研究員(助教授相当)兼任。2005年お茶の水女子大学理学部情報科学科助教授。2011年同大学教授。情報可視化, マルチメディア, インタラクシオン等の研究に従事。



宮田 章裕 (正会員)

2005 年日本電信電話株式会社入社。  
2008 年慶應義塾大学大学院博士課程  
修了。2016 年より日本大学文理学部  
情報科学科准教授。インタラクショ  
ン, 実世界指向インタフェース, バリ  
アフリーの研究に従事。情報処理学会

2017 年度・2018 年度論文賞。ACM, HI 学会, 日本 VR 学  
会, 日本 DB 学会各会員。博士 (工学)。本会シニア会員。