

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検討

平成30年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

富永 詩音

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、先行研究では、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。

本稿では紙片同士のさらなるマッチング精度向上を目指し、紙片同士の破れ目の形状が似通ったものになりにくくなるよう、従来設けていた紙のちぎり方に関する実装上の制約を変更し、より自由な形状の破れ目を利用できるようにした。また、紙のちぎり方に関する制約の変更によって利用可能となった、新たな特徴量の導入も行った。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えることを確認した。

本稿の貢献は次の通りである。

- 紙片同士の破れ目の形状が似通ったものになりにくい、紙のちぎり方に関する新たな制約を検討し、新たな制約のもとでちぎられた紙片を利用できるシステムを構築したこと
- 紙片同士のマッチングに利用可能な新たな特徴量を考案し、システムに導入したこと
- 紙のちぎり方に関する新たな制約を導入してより自由な形状の破れ目を利用できるようにした手法と、従来手法とで、紙片同士のマッチング精度を比較する検証実験を行ったこと

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	2
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	電子情報の受け渡しを行う方式 に関する事例	4
2.1	連絡先を交換して電子情報の受け渡しを行う方式 に関する事例	5
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 に関する事例	5
第3章	研究課題	7
3.1	問題の定義	8
3.2	研究課題の設定	9
第4章	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提案	10
4.1	アプローチ	11
4.2	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提案	11
第5章	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実装	14
5.1	実装した画像処理上の制約	15
5.2	マッチングアルゴリズム	15
5.3	前処理1：紙片画像からの紙片部分の抽出	16
5.4	前処理2：紙片の破れ目部分の輪郭の抽出	17
5.5	紙片の特徴量の抽出	19
5.5.1	特徴量 f_p ：紙片の破れ目上の特定の2点の位置関係	19
5.5.2	特徴量 f_e ：紙片の破れ目の形状	19
5.6	マッチング候補の絞り込み	20

5.7 紙片同士のマッチング	21
第6章 評価実験	23
6.1 実験の目的	24
6.2 実験条件	24
6.3 実験の手順	24
6.4 実験結果・考察	27
第7章 結論	30
参考文献	32
研究業績	35

目次

3.1	紙の破れ目の形状	9
3.2	分断された文字列の行数	9
3.3	分断された文字数	9
4.1	ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ対辺上に存在するようにちぎる	13
4.2	紙片の破れ目上における特定の点の位置	13
5.1	マッチングアルゴリズム	15
5.2	前処理前の元画像	16
5.3	領域分割（減色）後の画像	16
5.4	HSV 変換後の画像	17
5.5	二値化後の画像	17
5.6	破れ目部分の輪郭抽出時における文字・図形の影響	17
5.7	膨張（Dilation）処理直後の画像	18
5.8	文字・図形除去後の画像	18
5.9	紙片部分の輪郭の検出	18
5.10	コーナー検出	18
5.11	破れ目の両端点の検出	19
5.12	紙片の破れ目部分の輪郭	19
5.13	紙片の破れ目上の特定の2点の位置関係	20
5.14	特徴量 f_e の抽出方法	21
5.15	p_1 から p_n までの画素を45個飛ばしで抽出	22
6.1	実際に実験で用いた紙片（旧制約）の例	25
6.2	実際に実験で用いた紙片（新制約）の例	26
6.3	従来手法におけるマッチング成功率	29
6.4	提案手法におけるマッチング成功率	29

第1章 序論

1.1 研究の背景

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、先行研究では、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][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。

1.2 研究の目的

本研究では、これまで提案してきた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、紙のちぎり方の自由度を向上させ、紙片同士のマッチング精度を向上させることを目的とする。この目的を達成するために、従来設けていた紙のちぎり方に関する実装上の制約を変更し、より自由な形状の破れ目を利用できるようにする。さらに、紙のちぎり方に関する制約の変更によって利用可能となる、紙片同士のマッチングに利用する新たな特徴量の導入も行う。

本稿では、上記の要件を実装したシステムの構築、および構築したシステムと従来のシステムとで比較実験を行い、その効果を確認することを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

2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事例について述べる。

3章では、先行研究について紹介するとともに、先行研究において生じている問題を定義し、それをふまえた上で本研究における課題を設定する。

4章では、先行研究で生じていた問題を解決するためのアプローチとして、従来設けていた紙のちぎり方に関する実装上の制約を変更すると述べた上で、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提案を行う。

5章では、変更後の新たな制約のもとでちぎられた紙片から、紙片同士のマッチングに利用する特徴量を抽出する方法と、紙片同士のマッチング方法について具体的に述べる。

6章では、行った検証実験の目的や条件、手順について述べ、実験結果から得られた知見についても述べる。

最後に7章にて、本論文の結論を述べる。

第2章 電子情報の受け渡しを行う方式 に関する事例

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事例

連絡先を交換して電子情報を受け渡す既存のサービスとしては、電子メール、SMS（ショートメッセージサービス）、LINE[6]やSkype[7]などのインスタントメッセージング、Facebook[8]やInstagram[9]などのSNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）などが挙げられる。それぞれのサービスで電子情報の受け渡しに必要な連絡先情報は、電子メールならメールアドレス、SMSなら電話番号、インスタントメッセージングやSNSならユーザアカウントである。

連絡先を交換して電子情報を受け渡す研究としては、[10]、[11]が挙げられる。AirMeet[10]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と共有し、コミュニケ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。[11]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事例

連絡先を交換せずに電子情報を受け渡す既存のサービスとしては、AirDrop[12]やDropbox[13]などが挙げられる。AirDropは、Apple[14]によって開発された、近くにあるApple製デバイス間で電子情報を手軽に受け渡すことができる機能である。相手に受け渡したい電子情報を選択したのち、近くにあるApple製デバイスの一覧から相手のApple製デバイスを選択することで、Bluetoothによってセッションが確立され、Wi-Fiによって電子情報が相手に受け渡される。Dropboxは、様々なファイルをクラウド上に保存しておけるオンラインストレージサービスである。Dropboxの機能の一部には、クラウド上に保存してある任意のファイルに対するリンクURLを生成することができるというものがあり、生成されたURLにアクセスすることでファイルの所持者以外のユーザであってもファイルの閲覧・ダウンロード等が可能となっている。

連絡先を交換せずに電子情報を受け渡す研究としては, [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25] が挙げられる. Sonoba.org[15] 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. ShakeCast[16] は, 2人のユーザが握手をすることで互いの連絡先などの電子情報の交換を行うシステムである. ユーザが手首に装着したスマートウォッチの加速度センサを用いてユーザ同士の握手動作を検出し, 同一の握手動作が検出されたユーザ間で電子情報の交換が行われる. SmARt Projection[17] 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, 普段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に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[18] 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ーに向けて“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[19] 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 [20] 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. Toss-It[21] は, モバイルデバイス間の電子情報の移動を, ジェスチャを用いて直感的に行えるシステムである. ユーザが送信側のモバイル機器を把持し, 受信側のモバイル機器に向かって“トスをする”ジェスチャや“振る”ジェスチャをすることで, 電子情報を受け渡すことが可能となっている. Transmimic[22] 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つけた後, 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[23] 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[24] 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上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そこに移動できる. O-Link[25] 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.

第3章 研究課題

3.1 問題の定義

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るようになった。例えば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、電子メール、SNS アプリケーション、既存研究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電子情報の受け渡しを行うためには、いくつかの問題が存在する。

1つ目の問題として、ユーザ同士で連絡先を交換する必要があるという点が挙げられる。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。しかし、初見の相手（例：偶然ツアーで知り合っただけの人）や、その場限りの相手（例：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考えられる。そのため、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、[10]、[11]のような、連絡先の交換を必要とする手段を見知らぬ相手に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、手間がかかるという点が挙げられる。[15]ではURLをユーザ自身が設定し、間違いのないように共有しなければならない。[16]や[17]、[18]、[19]、[20]、[21]では、電子情報の共有を行うためにはユーザ同士が同じ場所にいないければならないため、新しい電子情報を受け渡そうとするたびに各ユーザは同じ場所に集まる必要があり、手間がかかる。[22]では連絡先を交換せずに電子情報を受け渡せるが、電子情報の受け渡しに利用するジェスチャを正確に記憶しておく必要がある。

3つ目の問題として、大型ディスプレイ [17]、専用のデジタルカメラ [23]、専用のペン [24]、専用のデバイス [25] のような、特別な道具を使用する必要があるという点が挙げられる。電子情報を受け渡す際、連絡先を交換する必要をなくすためだけに、専用の道具を別途用意することは、ユーザにとって大きな負担であると考えられる。

これらの問題を解決するために、先行研究では、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]。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。情報の受け渡しを行うとき、まず送信者は紙を2片にちぎり、一方を受信者に手渡す。このときに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 s をカメラで写すことで、 s の破れ目の特徴と情報を結びつける。受信者は r をカメラで写すことで、 r の破れ目の特徴、すなわち、 s の破れ目の特徴に合致する電子情報にアクセスできる。また、各自で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）を利用する。そして、紙のちぎり方に関してこれまでに行った実装上設けた、“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”という制約のもとでちぎられた

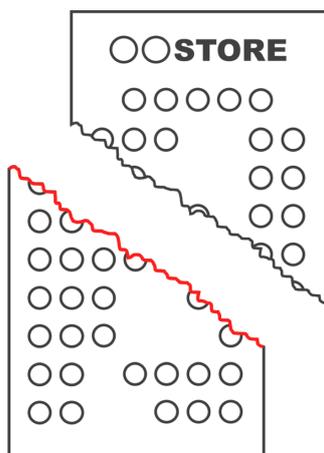


図 3.1: 紙の破れ目の形状

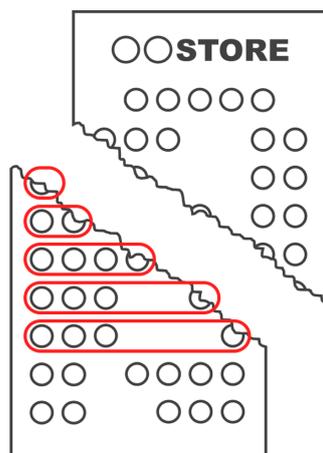


図 3.2: 分断された文字列の行数

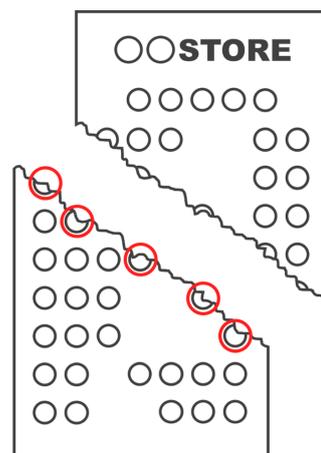


図 3.3: 分断された文字数

紙片から得られる、「紙の破れ目の形状（図 3.1）」、「紙の破れ目によって分断された文字列の行数（図 3.2）」、「紙の破れ目によって分断された文字の数（図 3.3）」という 3 つの特徴量を利用した紙片同士のマッチングを行ってきた。しかし、上述の制約のもとでちぎられた紙片は、破れ目の形状がどれも似通ったものになってしまう。そのため、似通っている破れ目の形状を特徴量とするマッチングは、精度を向上させることが困難な状態にあった。

3.2 研究課題の設定

3.1 節で定義した問題をふまえ、本研究では、これまで提案してきた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、紙のちぎり方の自由度を向上させ、紙片同士のマッチング精度を向上させることを研究課題として設定する。

第4章 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提案

4.1 アプローチ

3.2節で設定した課題を達成するために、紙のちぎり方に関する実装上の制約を、“ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ紙の対辺上に存在するようにちぎる”（図4.1）に変更し、ちぎり方の自由度を向上させるというアプローチをとる。この制約では、紙のちぎり始め・終わりの位置はある程度指定されているものの、破れ目の形状に関しては制限されないようになっている。

4.2 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提案

4.1節のアプローチに基づき、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を提案する[4][5]。提案方式では、4.1節で述べたように紙のちぎり方に関する制約を変更し、より自由な形状の破れ目を利用できるようにする。これにより、下記の2点からマッチング精度の向上が期待できる。

第1に、従来は直線状である必要があった破れ目の形状に多様性が増し、従来使用していた特徴量の「紙の破れ目の形状」に関して、ちぎられた紙片間で差が生じやすくなると考えられるため、結果としてマッチング精度の向上が期待できる。

第2に、破れ目の形状に制限がなくなったことによって新たに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と考えられる。[3]以前の従来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（図4.2）。しかし、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対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、紙片の破れ目が上にくるようにしたとき、破れ目の左端・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・右端ではなくなり（図4.2）、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られる。

また、従来特徴量として利用してきた「紙の破れ目によって分断された文字列の行数」、「紙の破れ目によって分断された文字の数」は、紙片の破れ目の形状が複雑な場合に正しく検出することが難しいため、今回は利用しない。しかし、文字が書かれた紙をちぎる場合、紙の破れ目によって分断された文字というのは、紙片同士をマッチングする際の重要

な特徴となり得ると考えられる。そのため、今後は紙に書かれた文字情報も特徴量として利用できるようにすることを視野に入れている。

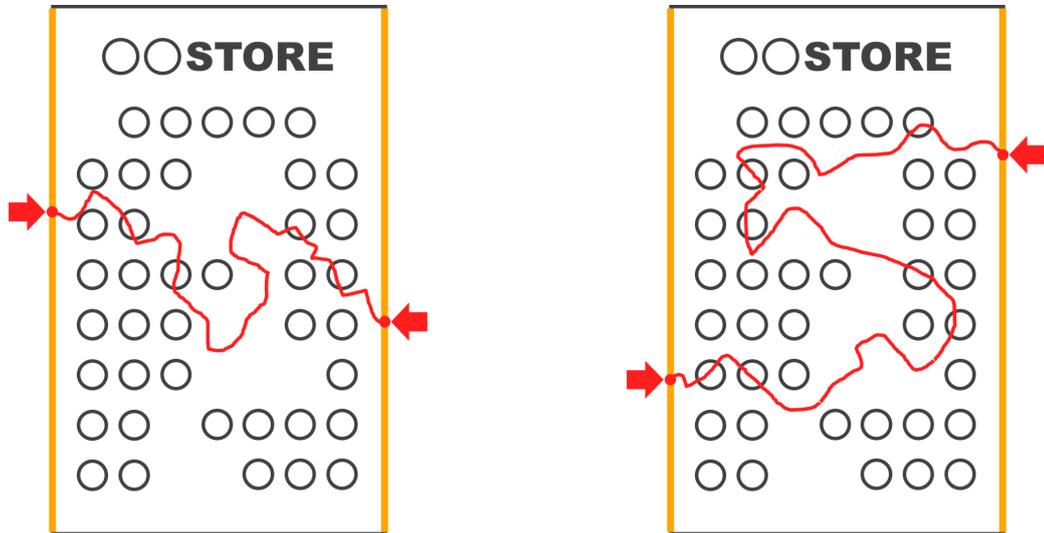


図 4.1: ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ対辺上に存在するようにちぎる

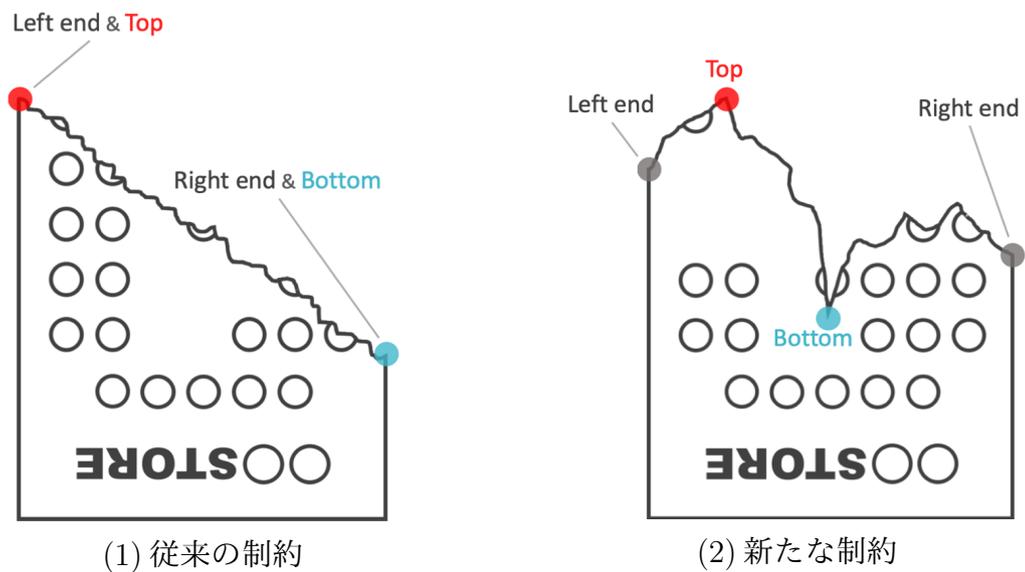


図 4.2: 紙片の破れ目上における特定の点の位置

第5章 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対辺上に存在するようにちぎる
- 紙片は破れ目が上にくるように撮影し，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

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5.1）．

Step1：撮影した紙片画像に対し前処理を施し，紙片の破れ目部分の輪郭を抽出する

Step2：紙片の破れ目部分の輪郭から，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．実際に行った各 Step の詳細については，以降の節でそれぞれ論じる．

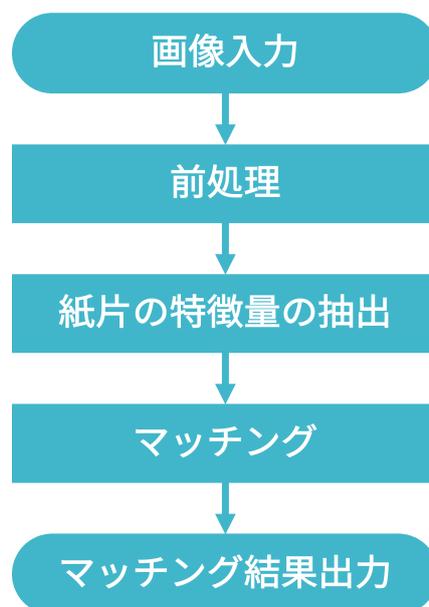


図 5.1: マッチングアルゴリズム

5.3 前処理1：紙片画像からの紙片部分の抽出

4.2節で述べた紙片の特徴量を算出する前に、前処理として元画像（図5.2*）から、紙片部分と背景の分離、および紙片内の文字や図形などの除去を行う。はじめに、元画像に対して Mean Shift 法 [26] を用いた領域分割を行う（図5.3）。これにより画像中で使用される色数が減少し、次に行う二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5.4）、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”にもとづいて二値化（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5.5）。また、二値化後の画像では紙片内に文字や図形などが存在するが、文字や図形などは二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や図形などと紙片の背景部分とを区別することは難しい。そのため、紙片内に文字や図形などが存在する状況で破れ目の輪郭を抽出しようとするると、図5.6の（1）のように、破れ目上の分断された文字や図形が、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、二値化後の画像に膨張（Dilation）・収縮（Erosion）処理を施し、紙片内の文字や図形などを除去する（図5.8）。膨張・収縮処理とは、二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5.7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。

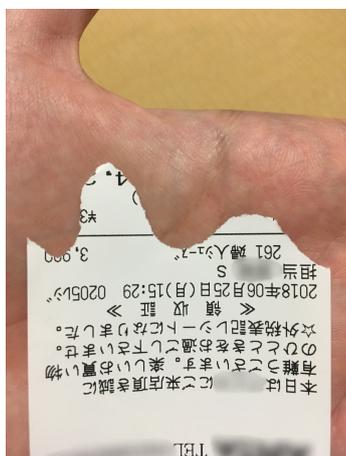


図 5.2: 前処理前の元画像

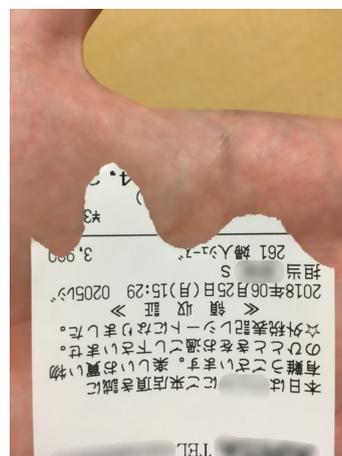


図 5.3: 領域分割（減色）後の画像

*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。



図 5.4: HSV 変換後の画像

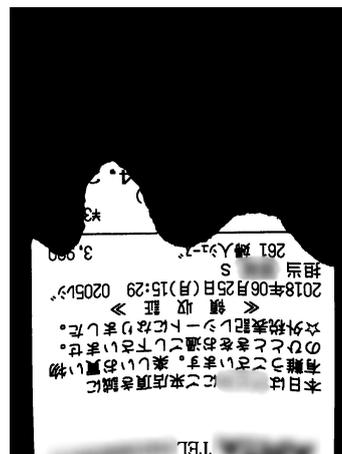
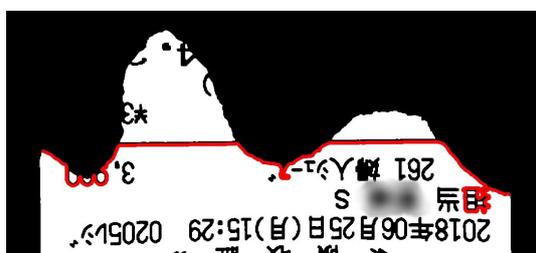


図 5.5: 二値化後の画像



(1) 文字・図形未除去



(2) 文字・図形除去後

図 5.6: 破れ目部分の輪郭抽出時における文字・図形の影響

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。まず、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5.8）に対し、Canny法[27]によるエッジ検出を行う。エッジとは、画像中の輝度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5.9）。Canny法とは、(1) 画像の平滑化、(2) 勾配の大きさ・方向の算出、(3) 細線化処理、(4) ヒステリシス閾値処理の4つの処理手順によって画像中のエッジ部分を検出するアルゴリズムであり、画像の解像度に関係なくエッジ部分を1pxの線分として検出できる。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5.10）

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



図 5.7: 膨張 (Dilation) 処理直後の画像



図 5.8: 文字・図形除去後の画像

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 5.11)

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 5.12)

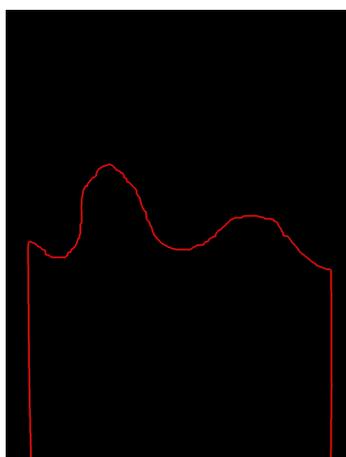


図 5.9: 紙片部分の輪郭の検出

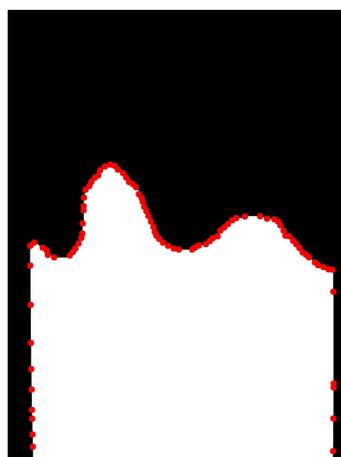


図 5.10: コーナー検出

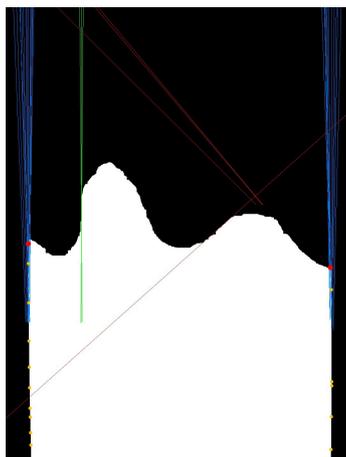


図 5.11: 破れ目の両端点の検出

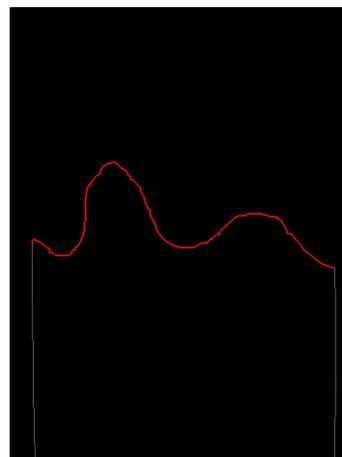


図 5.12: 紙片の破れ目部分の輪郭

5.5 紙片の特徴量の抽出

5.5.1 特徴量 f_p : 紙片の破れ目上の特定の2点の位置関係

5.4節で抽出された、紙片の破れ目部分の輪郭（図5.12）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。

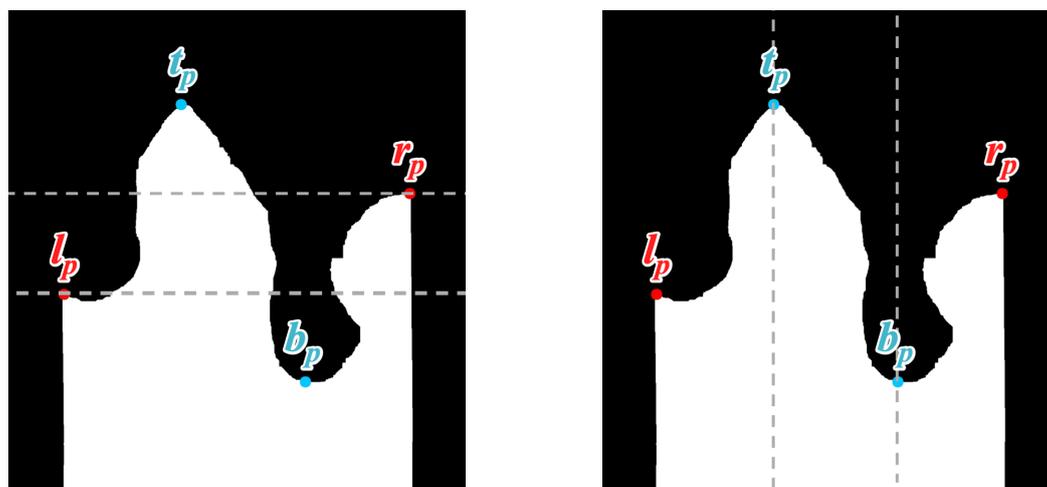
位置関係

- (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

図5.13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、これを特徴量 f_p （Position feature）とする。

5.5.2 特徴量 f_e : 紙片の破れ目の形状

5.4節で抽出された紙片の破れ目部分の輪郭を e とする（図5.12）。 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



(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 5.13: 紙片の破れ目上の特定の2点の位置関係

づき45個飛ばしとした[†]). 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 5.14).

5.6 マッチング候補の絞り込み

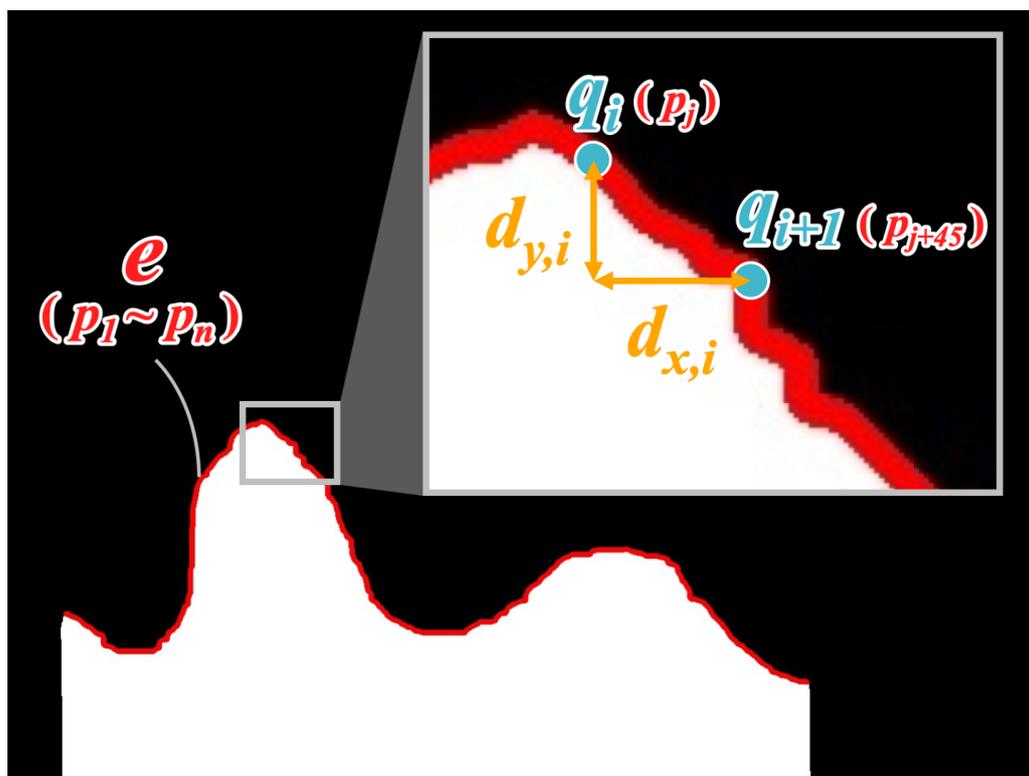
マッチングを行う際, 入力紙片とマッチング候補紙片群の全ての紙片との f_e の類似度計算を行うと, 計算処理時間が膨大になりユーザエクスペリエンスを低減させることになりかねない. そこで, 相対的に高精度に検出しやすい f_p を, マッチング候補を絞り込むためのフィルタとして機能させる.

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 (5.7 節) が行われないようにすることで処理速度が向上する

[†] 今回の事前検証では画素数 1080*1440 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 60~80px 程度となる.

図 5.14: 特徴量 f_e の抽出方法

5.7 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.

$$s_x = 1/(1 + DTW(D_x, D'_x)) \quad (5.1)$$

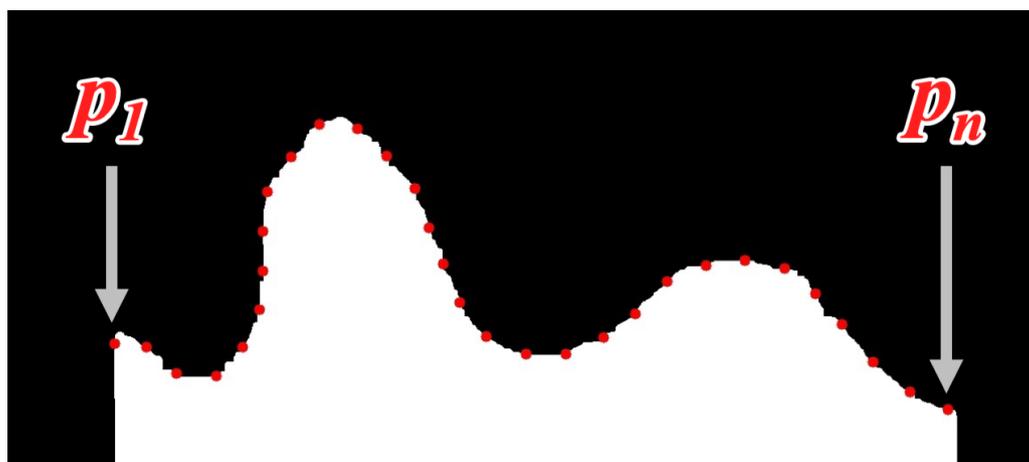
$$s_y = 1/(1 + DTW(D_y, D'_y)) \quad (5.2)$$

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 の算出式は下記のようなになる.

$$s_t = w_x s_x + w_y s_y \quad (5.3)$$

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

図 5.15: p_1 から p_n までの画素を 45 個飛ばしで抽出

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も検証を重ねる必要がある。

第6章 評価実験

6.1 実験の目的

本実験では、紙のちぎり方に関する制約を変更し、より自由な形状の破れ目を利用できるようにすることで、従来手法 [1][2][3] と比べて、紙片同士のマッチング精度が向上したかを検証することを実験の目的とする。

6.2 実験条件

提案手法とマッチング精度を比較する手法として、紙のちぎり方に関する実装上の制約を変更する前の従来手法 [1][2][3] のうち、紙片同士のマッチング精度が最も高い [3] 時点の手法を用いる。また、従来手法と提案手法では紙のちぎり方に関する制約が異なるため、従来手法と提案手法で同一の紙片を用いてマッチング精度を求めることはできない。よって、従来手法でマッチング精度を求める際には、従来設けていた“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”という制約（以下、「旧制約」）のもとでちぎられた紙片（図6.1）を使用し、提案手法でマッチング精度を求める際には、今回新たに設ける“ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ紙の対辺上に存在するようにちぎる”という制約（以下、「新制約」）のもとでちぎられた紙片（図6.2）を使用する。本実験で使用する紙片は、20代の大学生10名（男性7名、女性3名）にちぎってもらい作成した。作成した紙片の数は、ちぎり分けられた2枚の紙片を1組とすると、旧制約のもとで92組（184枚）、新制約のもとで92組（184枚）である。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）に行ってもらった。

撮影条件1：紙片は手のひらの上に乗せる

撮影条件2：紙片は破れ目が上にくるように撮影する

撮影条件3：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4：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, 4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。

6.3 実験の手順

6.2節の条件を満たした上で、旧制約のもとでちぎられた92組（184枚）の紙片と、新制約のもとでちぎられた92組（184枚）の紙片を用いて、従来手法と提案手法のそれぞれでマッチング成功率の検証を行う。

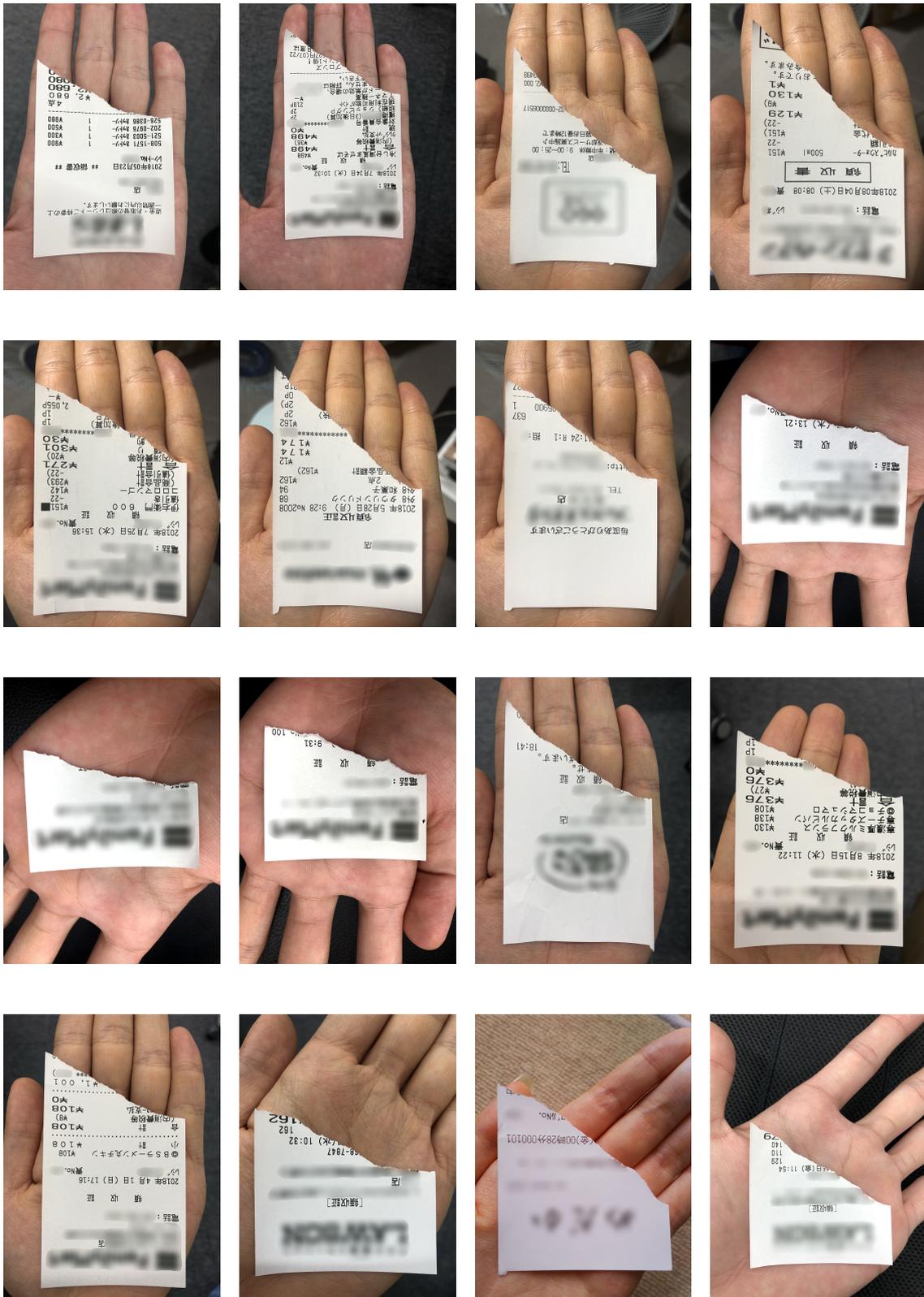


図 6.1: 実際に実験で用いた紙片 (旧制約) の例

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（184枚）の紙片から無作為に50組を抜き出す

手順2：抜き出した紙片50組（100枚）を、上側の紙片（以下、「upper」）50枚と下側の紙片（以下、「lower」）50枚の、2つのグループに分ける

手順3：upper50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upper50枚に対しlower50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50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の平均を、その手法における最終的なマッチング成功率とする

6.4 実験結果・考察

従来手法、提案手法それぞれについてマッチング成功率の検証を行った結果、各手法におけるマッチング成功率は、従来手法では**25.2%**（図6.3）、提案手法では**73.2%**（図6.4）となった。また、従来手法と提案手法間で、それぞれの5回分のマッチング成功率に対して、対応のないt検定を行ったところ、**1%水準**で有意差を確認できた。このことから、紙のちぎり方に関する制約を変更し、より自由な形状の破れ目を利用できるようにすることは、紙片同士のマッチング精度を向上させるアプローチとして有効であったと考えられる。

マッチング精度が向上した要因としては、下記の2つが考えられる。1つ目に、紙のちぎり方に関する制約の変更によって、従来は直線状である必要があった破れ目の形状に多様性が増し、従来使用していた特徴量の「紙片の破れ目の形状」に関して、ちぎられた紙片間で差が生じやすくなったことが考えられる。2つ目に、破れ目の形状に制限がなくなったことによって新たに生まれた特徴を、紙片のマッチング候補を絞り込むためのフィルタとして利用できたことで、破れ目の形状が似ている紙片との誤マッチングが減少したことが考えられる。

今後、よりマッチング精度を向上させるために解決すべき点について論じる。まず、撮影された紙片画像から紙片部分のみを抜き出す画像処理が未洗練であるという問題が挙げられる。今回の実験時における紙片の撮影は、複数人の実験協力者に行ってもらったが、各々の撮影場所の光環境が異なるため、実験協力者間で、撮影した紙片画像の明るさに差が生じていた。現状の実装では、紙片画像における紙片部分の明るさが一定以下であると、紙片部分を正確に抜き出すことが難しい。そのため、薄暗い光環境下で撮影された紙片画像については、紙片部分を正確に抜き出せないものもあった。この問題に関しては、撮影された紙片画像の明るさ（露出）やホワイトバランスを自動で調整する画像処理を

実装するなどして解決したいと考えている。次に、従来利用してきた2つの特徴量を利用できていないという問題が挙げられる。従来利用してきた2つの特徴量とは、「紙の破れ目によって分断された文字列の行数」、「紙の破れ目によって分断された文字の数」のことだが、4.2節で述べた通り、紙片の破れ目の形状が複雑な場合に、正しく検出することが難しいため、今回は利用していない。そのため、この2つの特徴量を利用できるようにする、あるいはこの2つの特徴量以外で、紙に書かれた文字から得られる情報を特徴量として利用できれば、紙片同士のさらなるマッチング精度の向上が見込めるのではないかと思われる。

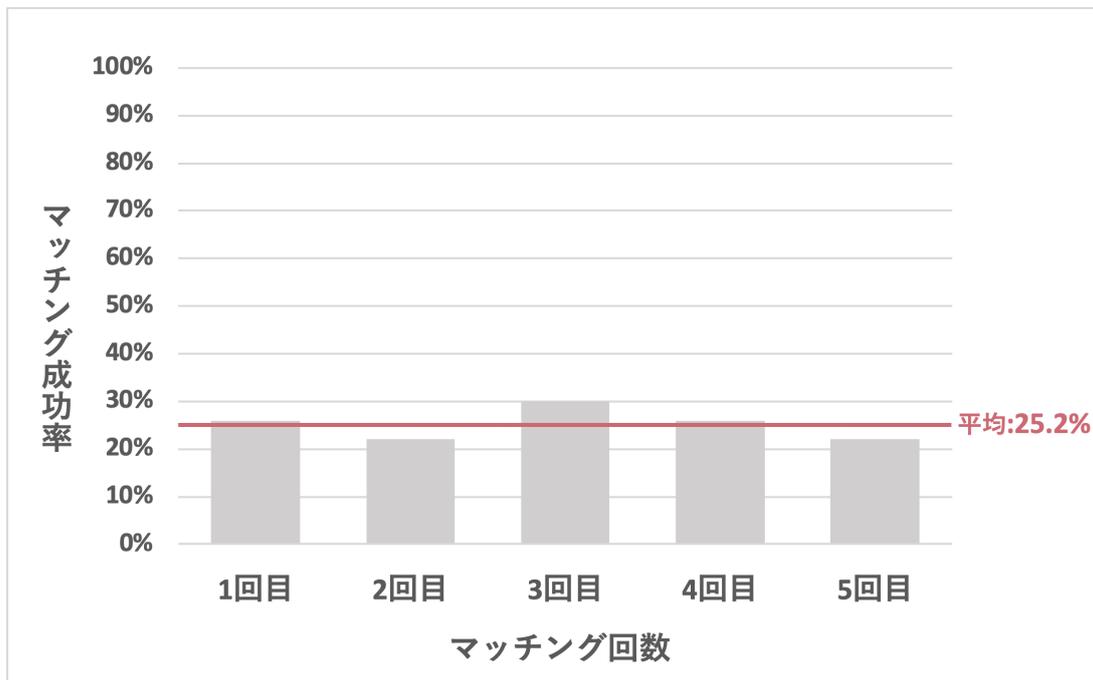


図 6.3: 従来手法におけるマッチング成功率

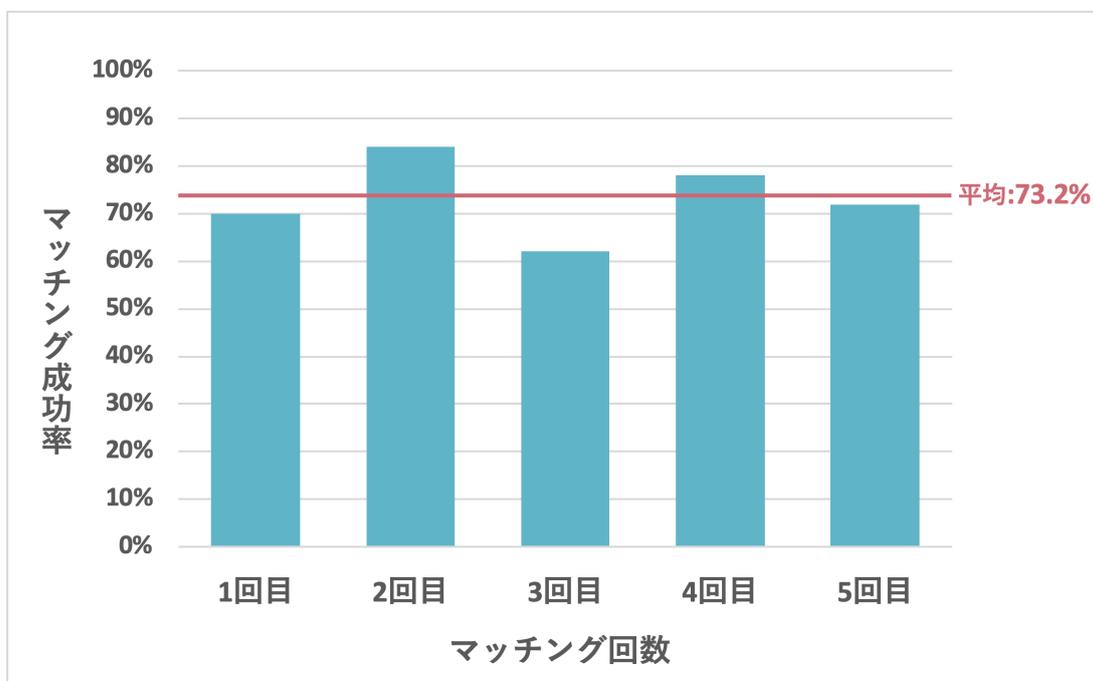


図 6.4: 提案手法におけるマッチング成功率

第7章 結論

先行研究では、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てきた。しかし、これまでに提案してきた方式は、紙のちぎり方に関して“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”という制約を設けており、この制約のもとでちぎられた紙片は破れ目の形状がどれも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。この状況に鑑み、本稿では、紙のちぎり方の自由度を向上させて紙片同士のマッチング精度を向上させるために、紙のちぎり方に関する制約を“ちぎり始め・終わりの点がそれぞれ紙の対辺上に存在するようにちぎる”に変更し、より自由な形状の破れ目を利用できるようにした。また、紙のちぎり方に関する制約の変更によって利用可能となった、“紙片の破れ目上の特定の2点の位置関係”という新たな特徴量の導入も行った。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には、本提案の利用が想定されるシーンについて熟慮した上で、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ティブ方式の基礎検討. 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ティブ方式の実装. インタラクティブ 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ティブ方式の実用性検証. 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ティブ方式の基礎検討. 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, 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ティブ方式の提案. インタラクティブ 2019 論文集 (掲載予定), 2019.
- [6] <https://line.me> (last visited: 2019/1/13).
- [7] <https://www.skype.com> (last visited: 2019/1/13).
- [8] <https://www.facebook.com> (last visited: 2019/1/13).
- [9] <https://www.instagram.com> (last visited: 2019/1/13).
- [10] 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ティブ, 第 2017-HCI-172 巻, pp. 1–8, 2017.
- [11] 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.
- [12] <https://support.apple.com/en-us/ht204144> (last visited: 2019/1/13).
- [13] <https://www.dropbox.com> (last visited: 2019/1/13).

- [14] <https://www.apple.com> (last visited: 2019/1/13).
- [15] 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, 第 2013-HCI-152 巻, pp. 1–8, 2013.
- [16] Tim Weißker, Erdan Genc, Andreas Berst, Frederik David Schreiber, and Florian Echtler. ShakeCast: Using Handshake Detection for Automated, Setup-free Exchange of Contact Data. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '17, pp. 88:1–88:8, 2017.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Koji Yatani, Koiti Tamura, Keiichi Hiroki, Masanori Sugimoto, and Hiromichi Hashizume. Toss-It: Intuitive Information Transfer Techniques for Mobile Devices Using Toss and Swing Actions. In *IEICE Transactions on Systems and Computers*, Vol. E89-D, pp. 150–157, 2006.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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*, pp. 31–39, 1997.

-
- [25] Toshihiro Nakae, Shiro Ozawa, and Naoya Miyashita. O-link: augmented object system for intergenerational communication. In SIGGRAPH '10 ACM SIGGRAPH 2010 Posters, 2010.
- [26] D. Comaniciu and P. Meer. Mean Shift: A Robust Approach toward Feature Space Analysis. In *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 25, pp. 603–619, 2002.
- [27] J Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-8, No. 6, pp. 679–698, 6 1986.

研究業績

査読付き論文誌

- (1) 呉健朗, 富永詩音, 多賀諒平, 宮田章裕: InfoClip: 日常生活空間中のオブジェクトへのリマインダ登録インタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.1, pp.147–156 (2019年1月).
-

査読付き国際会議

- (1) Kenro Go, Nagomu Horikoshi, Shion Tominaga, Jinta Nakamura and Akihiro Miyata: Implementation and Evaluation of a Reminder Registration Interface for Daily Life Objects, Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2018), Communications in Computer and Information Science, Vol.852, pp.455–462 (2018.6).
-

査読付き国内会議

- (1) 富永詩音, 呉健朗, 伊藤貴之, 宮田章裕: [掲載予定] 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提案, 情報処理学会インタラクション2019予稿集 (2019年3月).
 - (2) 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, 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年11月).
 - (3) 呉健朗, 堀越和, 富永詩音, 中村仁汰, 宮田章裕: 実世界オブジェクトへのリマインダ登録インタフェースの実装と評価, 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2017論文集, Vol.2017, pp.1–8 (2017年11月).
-

研究会・シンポジウム

- (1) 鈴木颯馬, 立花巧樹, 大和佑輝, 呉健朗, 富永詩音, 宮田章裕: [掲載予定]finDrawers: 収納物を検索可能な引き出しの基礎検討, 情報処理学会インタラクション2019予稿集 (2019年3月).
- (2) 立花巧樹, 富永詩音, 大西俊輝, 呉健朗, 宮田章裕: [掲載予定] ベビーカー利用時における周囲への動作予告手法の基礎検討, 情報処理学会インタラクション2019予稿集 (2019年3月).

- (3) 内田大樹, 立花巧樹, 富永詩音, 呉健朗, 宮田章裕: [掲載予定] 影を用いた誘目性と受容性を両立する情報提示方法の基礎検討, 情報処理学会インタラクシオン 2019 予稿集 (2019 年 3 月).
 - (4) 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, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018), Vol.2018, pp.1341–1348 (2018 年 7 月).
 - (5) 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, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018), Vol.2018, pp.1770–1776 (2018 年 7 月).
 - (6) 多賀諒平, 呉健朗, 富永詩音, 宮田章裕: スリッパを用いた匿名フィードバックシステムの基礎検討, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018), Vol.2018, pp.427–431 (2018 年 7 月).
 - (7) 富永詩音, 呉健朗, 篠崎涼太, 多賀諒平, 宮田章裕: Transmimic: ジェスチャを真似て情報を受け取る手法の基礎検討, 情報処理学会インタラクシオン 2018 予稿集, pp.978–981 (2018 年 3 月).
 - (8) 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オン方式の実装, 情報処理学会インタラクシオン 2018 予稿集, pp.615–619 (2018 年 3 月).
-

メディア掲載

- (1) 破った紙の画像、割り符に, 日本経済新聞 朝刊 科学技術面 (2018 年 4 月 2 日).
-

受賞

- (1) マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム 最優秀プレゼンテーション賞, 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, 受賞者: 富永詩音 (2018 年 7 月).
- (2) マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム ナイトテクニカルセッション賞, 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, 受賞者: 呉健朗, 宇野広伸, 富永詩音, 長岡大二, 小林舞子, 大和佑輝, 篠崎涼太, 多賀諒平 (2018 年 7 月).

-
- (3) 情報処理学会インタラクシヨン 2018 インタラクティブ発表賞 (PC 推薦), 紙をちぎることで電子情報を手渡すインタラクシヨン方式の実装, 受賞者: 玉城和也, 呉健朗, 中村仁汰, 富永詩音, 宮田章裕 (2018 年 3 月).
- (4) 情報処理学会インタラクシヨン 2018 インタラクティブ発表賞 (一般投票), 紙をちぎることで電子情報を手渡すインタラクシヨン方式の実装, 受賞者: 玉城和也, 呉健朗, 中村仁汰, 富永詩音, 宮田章裕 (2018 年 3 月).
-