

平成24年度 修士論文

デジタルペンを用いたグループKJ法システムの利便性の向上

平成25年2月13日

11350922

丹生 隆寛

指導教員 三浦 元喜 准教授

九州工業大学大学院 工学府 先端機能システム工学専攻

概要

KJ法における活動記録をアノト方式のデジタルペンを用いて効率的に電子化することを目的とした、グループKJ法システム(GKJ)が提案されている。従来のGKJシステムではデジタルペン筆記を用いたラベル位置の取り込みや階層構造の編集は行えるが、用紙をまたぐ筆記のみを特殊な操作に割り当てていたため、図解の編集作業や評価作業といった高度な編集作業をペン操作のみで行うことができなかった。そこで我々は筆記情報をパターン認識することにより、ラベルに対する情報付加や高度な編集操作をペン操作のみで行えるようGKJシステムを拡張した。パターン認識を行うことで通常筆記と編集操作を分けることができるため、KJ法の参加者が紙への操作を主体とした、従来よりも自然な作業を行うことができる。また従来のシステムでは編集操作結果のフィードバック方法を考慮していなかった。そこで拡張現実感(AR)を用いて仮想空間の筆記情報を作業の場に重畳させることにより、利用者がよりわかりやすく作業が行えるように支援した。我々は今回の研究で既存のGKJの機能を拡張しユーザエクスペリエンスを向上させた。そして我々はユーザ評価実験によりKJ法の参加者の作業中の編集操作がより快適になったことを確認した。

目次

第1章	デジタルペンを用いた KJ 法システム	4
1.1	背景	4
1.2	KJ 法	4
1.3	KJ 法の仮想化と実世界	6
1.4	デジタルペンを用いたグループ KJ 法システム	8
1.4.1	GKJ の構成	8
1.4.2	GKJ の利点	9
1.5	本研究の目的	10
第2章	ジェスチャコマンド手法の提案	12
2.1	問題点	12
2.2	ラベルカードの編集操作方法	12
2.2.1	ペントッピングを用いた操作	13
2.2.2	パレットを用いた操作	13
2.2.3	ペンジェスチャを用いた操作	13
2.3	ジェスチャコマンドの提案	14
2.3.1	ジェスチャコマンドの機能と実装	14
2.3.2	評価実験	16
2.3.3	実験結果	17
2.3.4	考察	17
2.4	User-Defined 手法の提案	18
2.4.1	問題点と提案	18
2.4.2	User-Defined 手法	19
2.4.3	システムの機能・実装	20

2.4.4	評価実験	21
2.4.5	結果・考察	22
第3章	パターン認識アルゴリズム	25
3.1	これまでのパターン認識と問題点	25
3.2	新たなるアルゴリズムの原理	26
3.2.1	正規化	26
3.2.2	Ramer method - 特徴点の選択	27
3.2.3	対応点同士のユークリッド距離 - 指標 1	28
3.2.4	Freeman's chain code - 指標 2	29
3.3	アルゴリズムの評価実験 - 1	30
3.3.1	予備調査 -Ramer の閾値-	31
3.3.2	予備調査 -指標 1-	31
3.3.3	実験内容	31
3.3.4	結果	32
3.4	アルゴリズムの評価実験 - 2	33
3.4.1	実験内容	34
3.4.2	結果	34
3.5	考察	34
第4章	拡張現実感 (AR) 技術の導入	36
4.1	課題と手法	36
4.2	A-GKJ の提案	37
4.3	A-GKJ の機能	38
4.4	システムの構成	39
4.4.1	つりさげ方式	39
4.4.2	鏡面反射方式	39
4.5	評価実験	40
4.5.1	評価内容	41
4.5.2	実験工程	42
4.5.3	アンケート内容	43

4.6 結果・考察	43
第5章 まとめ	46
謝辞	48
参考文献	49

第1章 デジタルペンを用いたKJ法システム

本論文では発想支援・創造支援活動などの意見を集約する作業やアイデア出し手法をデジタル化させたシステムについて論ずるものである。第一章では本テーマを取り巻く背景と今回踏襲する発想支援手法とそのシステムについて説明する。

1.1 背景

近年我々の生活や趣向の多様化が起きている中、技術者の研究活動に対しての考慮すべき情報量が増加している。その中で問題提起やアイデアを創出することは企業や研究者にとって大変重要なプロセスとなってきた。

我々は文やキーワードや発言などの情報について、メモ帳や Word でデジタル文章を作成・保存できることが可能になった。グループディスカッションやアンケートや意見の抽出・まとめを記述して保存することは可能だが、そこから問題解決・発想・創作作業を行う有効な手段がまだ確立していなかった。そこでバラバラな情報をまとめる方法として考案された発想支援手法が川喜多二郎による KJ 法 [1] である。

1.2 KJ 法

川喜多二郎の提案した KJ 法は、集まった膨大な情報を効率的にまとめるために考案した手法である。フィールドワークで多くのデータを集めた後、あるいはブレインストーミングにより様々なアイデア出しを行った後の段階で、それらの雑多なデータやアイデアを統合し、新たな発想を生み出すために KJ 法が利用される。通常この作業は 1 人で行われることが多いが、複数人での意見出しとしても利用されることがある。創造性開発または創造的問題解決、発想支援に効果があるとされる。そして今現在では企業や研修活動やワークショップなど様々な場面で使われている。

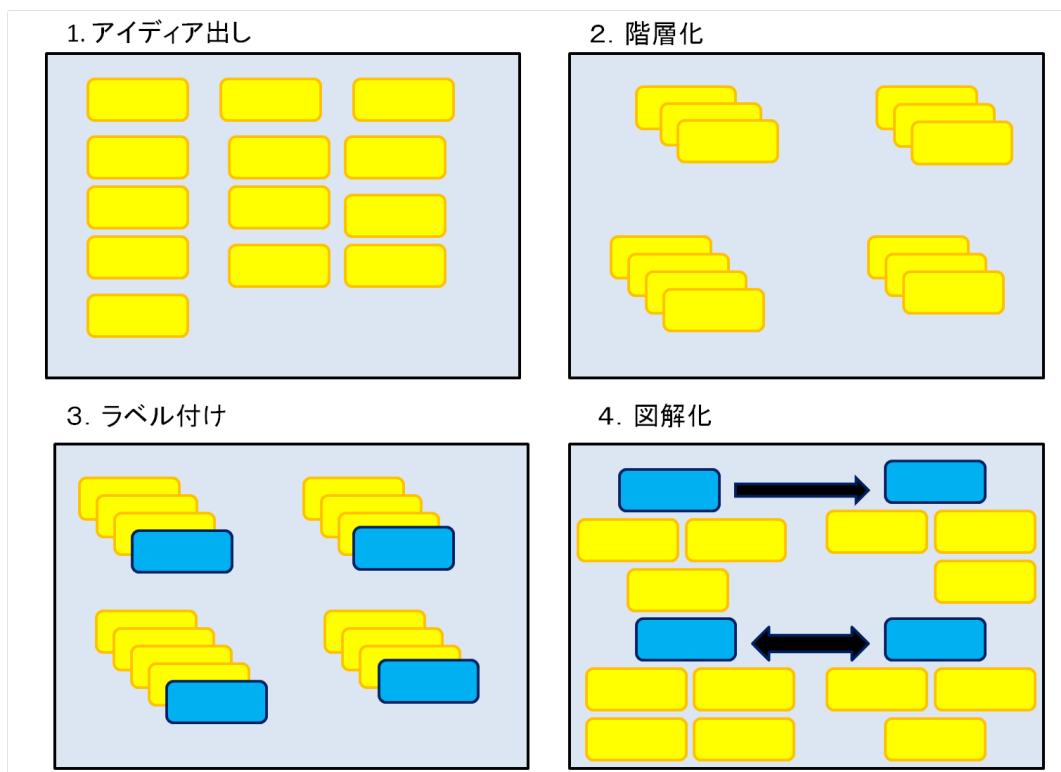


図 1.1: KJ 法の手順

KJ 法は大きく 4 つの手順で構成されている [2]. 図 1.1 に操作手順を示す. 集まったデータを小さいラベルカードに記述する. 次にカードを似通ったもので階層化を行い従属関係・島・グループを組む. そしてグループごとにまとめてラベル付けを行い, ラベルカードを図解化してアイデアやデータをまとめる.

まず 1 つ目のアイデア出しはキーワードを書くのではなく文を記入する. この際の注意点としては, 1 つのラベルカードには 1 つの意見を書く. 2 つ目の階層化で似ているアイデアをまとめてグループにする. 3 つ目のラベル付けでそれぞれのグループから得られるラベルを生成する. そして手順 2, 3 を数回繰り返して最終的にグループ同士の関係を明らかにし図解化を行う. 成果物が完成すると, 作成した図解をもとに文書として落とし込む. 以上の手順が伝統的な KJ 法の手順である.

1.3 KJ 法の仮想化と実世界

KJ 法は本来、模造紙上での紙ラベル操作というアナログな手法であったが、1990 年代に低価格な計算機でもグラフィカルな情報提示が可能になったことで、KJ 法を電子化する流れが生じた。KJ 法を電子化することにより、従来模造紙上で行っていた作業がパソコン上で行えるようになる。そのため、ラベル配置に伴う作業スペースが縮小できたり、元のデータラベルの管理が行いやすくなったりする利点が生じる。

また、これまでの KJ 法にはない、ネットワークでの共有、図解からの文章のアウトライン作成、ログ取り・ログ再生機能等が実現できる。これらの機能を提供する GUI ベースの KJ 法支援システムとして、以下のようなものがある。

情報の整理やアイデアの発想を目的としたカード操作を計算機で行うためのソフトで、KJ エディタ [3] が提案された。これは UNIX 系の Windows 上で動くプログラムである。マウスを用いてディスプレイ上のウィンドウ画面に記入するタイプの操作方法になる。

また GUNGEN-Spiral[4] が発想支援グループウェアとして提案された。アイデアの収集、アイデアの保存、アイデアの共有、発想支援、アイデアの再利用を目的とする。PDA 上で動く GMemo、マルチメディアデータベースシステム、アイデア共有システム、発想支援グループウェア郡元で構成されている。システムは Gmemo でデータ収集を行い、そのデータをマルチメディアデータベースシステムに保存して、アイデア共有システムでインターネットを介してメンバー内で共有する。KJ エディタや GUNGEN-Spiral により、仮想的なデータラベルを操作することによる発想支援システムの研究が進展した。

しかしながら狭い画面上では一覧性に欠け、多量のラベルを同時に閲覧しにくいことや、グループでの共同操作が行いにくいという問題点があり KJ 法の良さ [2] を活かし切れていない。

主に KJ 法における多数のラベル情報を効率的に扱うことを目的として、計算機を用いて仮想的なラベルを配置するシステムが提案されてきた [5]。また、グループでの利用を考慮したシステムも提案されている [6]。しかし、少人数グループで行う活動においては、物理的に 1 つの作業対象を全員で参照し、互いの雰囲気を見ながら作業を行うほうが望ましいと考えられる [2]。

なお成果物を単純に電子化する方法として、カメラにより写真を撮影する方法もある

が、誰が出した意見かをあとで確認することが難しかったり、再編集性に乏しいといった問題がある。

1990年代の中頃から、従来のコマンド操作や、グラフィカルな画面操作のパラダイムではなく、人間が生活する実世界に存在するオブジェクトを自然に操作するだけで、デジタル世界の情報に反映する実世界指向のアプローチや、タンジブル・ユーザ・インタフェース(TUI)[7]の考え方が広まり始めた。この実世界指向のアプローチを採用し、個人作業ではなくグループでの共同作業支援に適用した研究として The Designers' Outpost [8] や The Designers' Environment [9] がある。The Designers' Outpost はペンと黒板サイズのスマートボードとカメラを用いて、ペンでスマートボードや付箋紙に書かれた文字をカメラ映像として取り込み計算機上に表示・処理を行っている。これにより実世界上での紙ラベル操作を自然にデジタル世界に取り込むことが可能になる。また PDA とマルチタッチ可能なデジタルテーブルを用いた The Designers' Environment では参加者同士の作業場の問題を解決しており、参加者同士が快適に作業ができることを追求した。

従来では作業を行うには会議室の様な環境が必要であったが、近年 iPad のような安価でマルチタッチ可能なタブレット端末が登場して、容易に作業空間が提供できるので場所を選ばずに作業ができるようになった。各参加者に iPad を持たせ個人の作業と全体への提示を可能にした G-Pad [10] がある、iPad 同士を持ち寄ることで作業場の拡張と結合が可能になった。また通信機能を活用したタブレット端末上でラベルの生成・記入ができシステムからのレコメンデーションを実現した研究 [11] が行われ、紙媒体と携帯端末での比較評価をおこなった。

このように発想支援手法の仮想化に関して様々な研究が行われてきた。しかし、これらの研究では従来の KJ 法で行ってきたような実世界の付箋紙や普通の机を作業に組み込んでおらず機械的な装置によって作業が支援されている。本来の KJ 法における活動は紙を中心とした作業として構築されていた。そうしたグループによる手作業での活動においては、作業後の成果物(模造紙・ラベル用紙)が1つのみであり、グループメンバー間で共有したり、再編集しづらいという問題点があり実際の手作業をそのまま仮想化することが難しいといった点があった。

以上の KJ 法本来の良さと仮想化の問題点を考慮し、グループで議論しながら行われる KJ 法(グループ KJ 法)の活動記録をアノト方式のデジタルペンを用いて効率的に電子化し、再編集可能な状態で共有することを目的とした、グループ KJ 法システム(以後、

GKJ と表記する) [12] が提案された。

1.4 デジタルペンを用いたグループ KJ 法システム

この節ではデジタルペンを用いたグループ KJ 法システムについて説明する。

1.4.1 GKJ の構成

GKJ ではアノト方式デジタルペン (図 1.2) を採用している。デジタルペンとは、ユーザの筆記情報をデジタル情報にして管理・運用するものである。アノト方式デジタルペンはペン先のカメラにより、紙に印刷された特殊なドットを読み取る。ドットは格子点から上下左右のいずれかの方向にずれて印刷されている。この「ずれ」のパターンから紙の位置を算出し、筆記情報を生成する。紙のドットを読み取ることから筆記精度は高く、また絶対座標が取得できるというメリットがある。ペンがもつデータであるペン番号・紙の番号・xy 座標がサーバに送信される仕組みになっている。



図 1.2: アノト方式デジタルペンとアノト用紙

このペンとアノト用紙を KJ 法における書くペンとラベル・台紙に使用する。GKJ システムでは、デジタルペンを用いてラベルと台紙の境界をまたぐような筆記を行うこと

で、台紙上におけるラベル位置を特定することができる(図 1.3:上). また、複数枚のラベルの境界をまたぐような筆記を行うことで、KJ法で扱われるラベル間の親子関係(階層構造)を構成することが可能である(図 1.3:下).

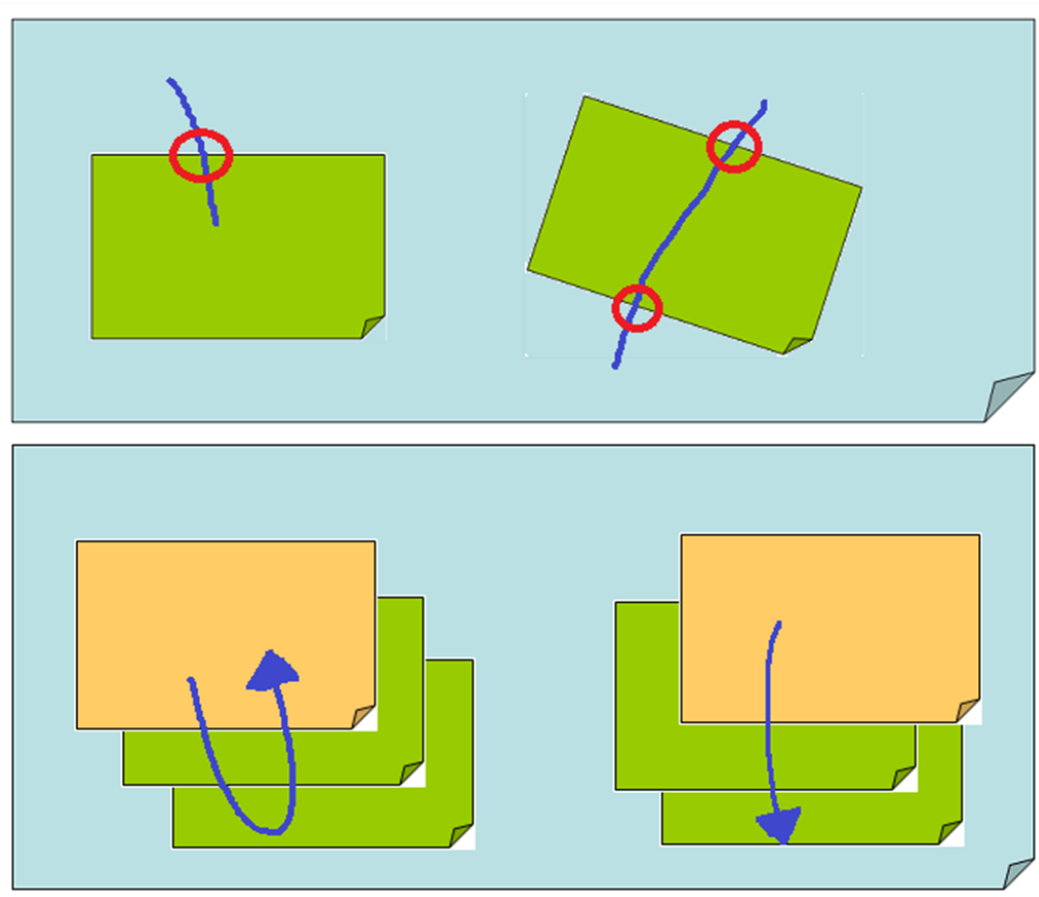


図 1.3: ラベル位置を特定する操作と階層化の操作

1.4.2 GKJ の利点

KJ法の参加者はドットパターンが印刷されたラベル用紙とデジタルペンを用いて、意見出しや台紙上への空間配置が行える。位置決めや階層構造編集により、取り込まれた図解は計算機上では図 1.4 のように表示される。ユーザはマウスやキーボードを用いて、この画面上で図解に対して追加編集することも可能である。

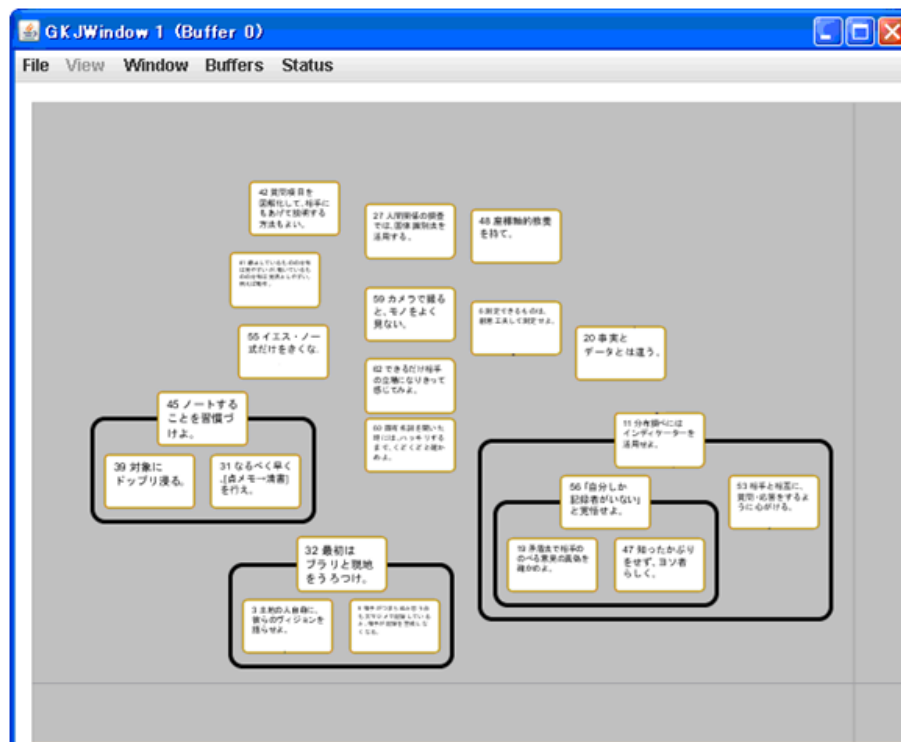


図 1.4: GKJ で電子化された作業の成果物

KJ 法ではラベルと台紙を使用することから、アノト用紙をそのまま割り当てできる利点がある。そして GKJ でユーザはラベル内の筆記・ラベルの位置情報・ラベルのグループ化の KJ 法の基本操作がペンのみでできるようになる。またペンのみで操作できるように「紙の境界をまたぐ筆記行為」を位置決めや階層構造編集のような特殊な操作にあてはめることによって、通常のラベル面への筆記とは自然に弁別できる。そのためユーザにとっては従来の紙を中心とした KJ 法のスタイルを踏襲できるという利点がある。

1.5 本研究の目的

従来の GKJ システムでは、上記で述べたように「紙の境界をまたぐ筆記行為」のみを抽出し、特殊な編集操作にあてはめる方針をとっていた。そのため、グループで行う図解の編集作業に対してのペン操作を割り当てていない。それらを行うためにはパソコン上に取り込んだデータに対して、マウスやキーボードによる操作が必要であった。

このアノト方式デジタルペンで行う **GKJ** において、元来の **KJ** 法で可能であったラベルの視覚的な編集を「デジタルペンのみ」でできるようになれば、元来の **KJ** 法で一般的に生成されていた視覚的に多彩で、魅力的な図解をグループ作業の流れの中で作成しやすくなると考えられる。

そこで我々は「紙の境界をまたぐ筆記行為」のみにとらわれず、ラベル単体への筆記データを視覚的な編集操作に割り当てる方法を考案した。さらに利用者が編集操作をより行いやすくなるように気軽に編集操作ができるシステムに改善した。加えて、**GKJ** の参加者に対するシステムからの提示方法についての改善を行った。これらの改善により、**GKJ** の利用者にとってさらなる利便性の向上を図ることを目的とする。

第2章 ジェスチャコマンド手法の提案

この章ではこれまで提案されてきた GKJ の問題点に触れ、新たな操作インターフェースの提案について説明する。

2.1 問題点

これまでの GKJ の課題はペン操作で作業中のラベルカードの視覚的な編集ができない点であった。ペンで書いたものはすべて黒色または事前に選んだ色でしか筆記の電子化が行えず、ユーザが視覚的な編集を行いたい時には作業の場から離れて GKJ のソフトウェアが動いている PC の前に立ってマウスを用いて編集操作をしなくてはならなかった。逆に作業が終わった後で PC での編集操作を行おうとすると、ユーザは思い出しての編集を強いられて作業中の意志や感想が忘れられてしまう懸念があった。

従来の GKJ システムにおいて、ペンでのみで行えなかった図解の編集作業や評価作業が行えるようになると、グループでの高度な編集作業や、衆目評価とよばれる投票に基づくラベルの重要度計算のためのデータをペンのみで入力できるため、実世界でのグループ活動を重視する GKJ システムの利便性が高まると考えられる。

そこで我々はペン操作のみで作業中のラベルカードの視覚的な編集処理を可能にする手法について検討する。次節にペンのみで行える編集操作方法について説明する。

2.2 ラベルカードの編集操作方法

GKJ における参加者は、作業時にデジタルペンとアノト用紙しか持っておらず、その他の入力手段を備えていないことを想定している。そのためペンのみを用いた編集操作手法について説明する。

2.2.1 ペンタッピングを用いた操作

ペンタッピングはマウス操作に例えると編集したいエリアを先に選択状態にして、ツールバーの機能を選択して処理する操作である。この操作だと普段マウス操作に慣れている人なら容易に理解されやすいだろう。エリアの選択は、デジタルペンで対象のラベルカードをタップ操作をするだけでどのラベルが選択されたかがわかるので容易にシステムに適応できる。しかし作業場にツールバーの領域を確保しなければならず、ユーザはエリアの選択とツールバーの選択の2回の操作をしなければならない。つまりユーザは選択の状態を意識しなければならないので、ユーザにとって煩わしい手間があると考えられる。

2.2.2 パレットを用いた操作

パレットは、ペンタッピングとは逆の操作で美術などで絵を描くときに使う絵具のパレットを模した操作方法である。アノト用紙に機能が割り振られたパレットを印刷して、デジタルペンで選択可能な操作方法を用いた研究 [13] もおこなわれている。パレットの良い点は一度パレットを選択するだけでペンの機能が変わり、それ以降もペンの機能が維持される点である。しかしペンの機能の状態についてユーザが常に意識しなければならないという欠点もある。つまりユーザが作業に没頭した後でふと思うと現在のペンの状態が分からなるといった混乱が生じる恐れが考えられる。

2.2.3 ペンジェスチャを用いた操作

ペンジェスチャはユーザが「またぎ」の様な通常筆記とは異なる動作を行うことで編集処理の引き金になる操作方法である。利点は一回の操作でラベルカードの編集ができることである。ただペンジェスチャと通常のラベルへの記入はソフトウェア側が区別できるような工夫が必要である。またペンジェスチャを用いるとラベルカードにも筆記が残るので、ジェスチャの筆記が残らないような工夫も必要である。しかしペンジェスチャはユーザにとって一番直観的な操作方法であると考えられる。

以上の3つの操作方法を表 2.1 にまとめる。この表とストロークコマンドのほうがショートカットキーよりも覚えやすいユーザインターフェイスであると評価した研究 [14] やペ

ンジェスチャ入力指示インターフェイスに関する研究 [15] を参考にして、我々はラベルカードの編集操作方法にペンジェスチャを採用する。

表 2.1: 3 つの編集操作方法

項目	ペントッピング	パレット	ペンジェスチャ
機能説明	必要	必要	必要
操作の直感性	△	○	○
操作の順番	気にする	気にする	気にしない
ペンの状態を記憶	必要	必要	不必要

ペンジェスチャを選択した理由に、デジタルペンがクリアファイルの様な半透明なシートの上からでもアノト用紙のドットパターンを読みとることが可能な点があげられる。半透明なシートを利用するとジェスチャの筆記の痕跡が現実のカードの上に残らないので、我々はペンジェスチャの欠点がシートを挟むだけで解決できると考えた。

2.3 ジェスチャコマンドの提案

我々はペンジェスチャに基づくジェスチャコマンドを提案した [16]。ユーザがクリアファイルの様なシートの上から「ジェスチャコマンド」を入力することによって、シートの下にあるラベルカードを対象としてカードに書かれた筆記情報の視覚的な編集が可能になる。このときの入力ジェスチャについてジェスチャの認識アルゴリズムの簡素化とユーザの使いやすさを考慮して、我々はシートにパターンを掘った方式 (図 2.1) を導入する。我々はこのシートをパターンシートと呼ぶ。溝を掘って溝をペンでなぞるように形状を工夫 [17] すると簡単に比較すべき教師データのジェスチャに似せたジェスチャコマンドが可能になると考えられる。

そしてユーザが編集したいと思った時に、ユーザはこのパターンシートを対象のラベルカードの上に被せて自由なタイミングで視覚的な編集操作ができるようになる。

2.3.1 ジェスチャコマンドの機能と実装

我々は視覚的な編集を実現するために、ラベルカードに書かれた筆記の色情報の変更を可能にする。その際に、図 2.1 のように赤色に編集するときは「R」、緑にするなら「G



図 2.1: 溝が掘られたパターンシート

」，青にするなら「B」とパターンの溝を掘る．我々はユーザがそのパターンシートを見るだけでそのジェスチャコマンドの動作を想定しやすいように Red, Green, Blue の頭文字からジェスチャコマンドの形を選定した．その際の通常筆記とジェスチャコマンドとを区別する工夫として，通常の筆記では得られない大きさの筆記入力をジェスチャコマンドと判断させる．また 2 つのラベルカード間の関係線を引く編集操作もジェスチャコマンドで利用できるようにする．

実装については，ペンから送信される筆記データを通常筆記とジェスチャコマンドとを判別する処理と入力されたジェスチャコマンドと教師データのジェスチャとの類似度算出の処理に分けられる．筆記の判別はラベルカードの大きさ 125×215 ドットに対して幅と高さが共に 6 割を越える筆記をジェスチャコマンドと判断する．類似度算出のアルゴリズムについては，最初に教師データのジェスチャの特徴点と合わせるために入力データを等間隔になるように正規化して特徴点とする．そして得られた特徴点から連続する線分と線分の角度 (図 2.2) を算出し，その角度のデータを用いて教師データとの類似度を算出する．そして類似度のもっとも高いジェスチャコマンドに割り振られた視覚

的な編集処理を実行する。

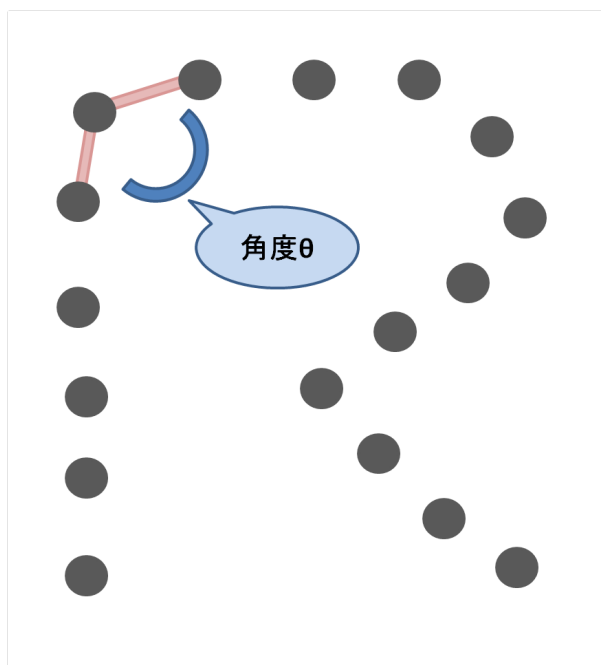


図 2.2: 特徴点の線分間の角度

2.3.2 評価実験

我々は提案したジェスチャコマンドの有用性を調べるために、被験者を9人集めて評価実験を行った。実験内容は視覚的な編集操作を「パターンシートを用いたジェスチャコマンド」、「溝のないシートを用いたフリーハンドのジェスチャコマンド」、「パレット」の3つの操作方法で行う。被験者は3枚のラベルカードに文字を書いてペンのデータを送信、その書いた文字を赤・緑・青色に視覚的な編集操作を行う。編集操作は各色の操作につき1回だけ行い、編集処理が成功するまで編集操作を行わせる。パレットに関しては、台紙に印刷された色のパレットをタップして送信、そしてペンの色の変更された状態で文字を記入、そしてペンの色をもとの黒色に戻すまでを編集操作とした。ただし2分間で編集処理が成功しない場合は編集失敗とみなし次の色編集に移ってもらう。そして我々は被験者の編集操作にかかった時間を計測して実験後に被験者にアンケートを行った [18].

2.3.3 実験結果

実験結果とアンケートの結果を表 2.2 と図 2.3 に示す。

表 2.2: 編集成功までにかかった平均時間 [秒]

編集項目	パターンシート	フリーハンド	パレット
赤 (R)	69	66.5	38.8
緑 (G)	36.3	57.7	31.3
青 (B)	38.2	40.9	34.3

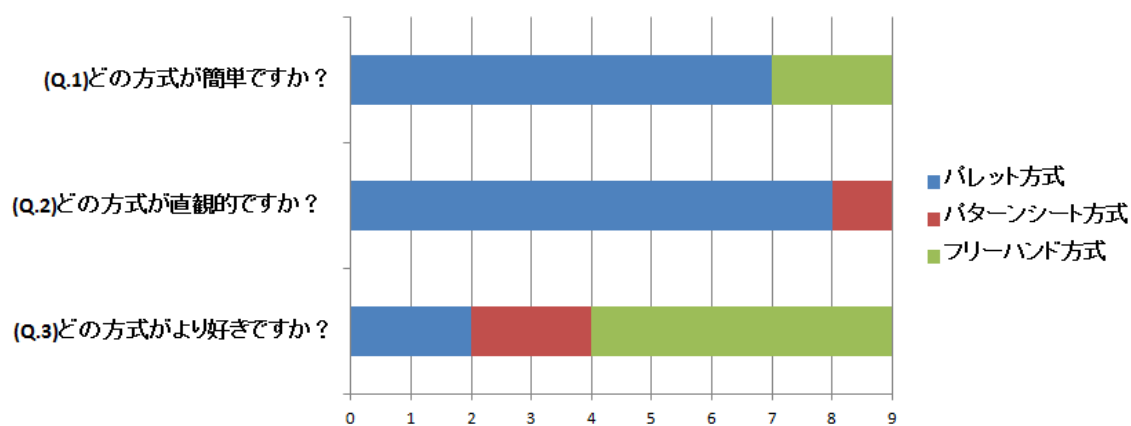


図 2.3: アンケート結果

2.3.4 考察

一つのラベルカードに対する編集操作の成功までにかかった平均時間を表 2.2 に示す。入力操作の時間は 2 分間を上限としてそれ以上のデータは失敗として外れ値とした。全体としてフリーハンドのジェスチャコマンドが入力成功までの時間が多くかかった、その理由として被験者が教師データとして登録されたジェスチャに似せるために試行を繰り返したためと考えられる。またフリーハンドとパターンシートを用いたジェスチャコマンドは認識率が悪く外れ値になることが多かった。しかし我々はジェスチャコマンドが最初の一回の操作で成功するとパレットより短い時間で編集操作が可能になることを確認した。

実験後のアンケートでは簡便さ、直感性、好みに関して、どの方式が優れているかについて質問した。アンケート結果を図 2.3 に示す。操作の直観性や容易性についてはパレットに良い評価が集まった、これはジェスチャコマンドの 2 つの操作が認識失敗を繰り返したためと考えられる。しかし、認識失敗が多く出たにも関わらず Q3 の「どの操作を好むか？」ではジェスチャコマンドであるフリーハンドに良い評価が集まった。このことから視覚的な編集操作手法であるジェスチャコマンドはユーザに好まれる操作方法であるといえる。

関連研究ではジェスチャがパレットより好まれるといった評価 [14] や、今回の評価実験のようにジェスチャの成功回数が約 6 割と低い操作方法が好まれるといったユーザ評価 [11] も確認されている。このように手書き文字入力環境における編集機能の操作手法はジェスチャ入力が好まれるインターフェイスと考えられる。さらにジェスチャの認識精度を向上させることで、ユーザのユーザエクスペリエンスの向上につながるこゝがいえる。

2.4 User-Defined 手法の提案

この節では GKJ の参加者が自由にジェスチャコマンドのパターンを定義できる新たな手法の提案について説明する。

2.4.1 問題点と提案

我々はジェスチャコマンドがユーザに好まれる操作方法であると証明できた、それによってユーザーはペン操作のみで編集したいラベルにジェスチャを書き込むことにより、KJ ダイアグラムの視覚的編集が可能になった。

しかしジェスチャコマンドの評価実験後の聞きとり調査によりジェスチャコマンドによる編集方法には 3 つの制限が見つかった。最初の制限について、ユーザは事前に定義されたジェスチャのパターンを入力するように強制されていたというネガティブな意見があった。被験者はより自由にジェスチャのパターンを入力したいと考えていることが分かった。2 つ目の制限は、ユーザが事前に定義されたジェスチャコマンドと編集処理の間の組み合わせを設定することができなかったという点である。例えばジェスチャが「R」

であるなら赤色に編集してしまうといった点である。3つ目の制限は、パターンシートの数に有限個しか準備できないことである。今後機能が増加するとそれとともにパターンシートを同じ枚数準備しなくてはならず、ユーザとシステム管理者の負担が増加してしまうことにつながってしまう。またシートに溝のないフリーハンドの方がパターンシートのジェスチャコマンドよりも良い可能性を持っていることがわかった。

この3つ制限を解消しよりよくなる可能性を追求するために、我々はユーザが自由にジェスチャを登録して使用が可能になる手法を提案する。ユーザがオリジナルのジェスチャを登録できるようになると、ユーザはお気に入りのジェスチャを使うことによってラベルカードを視覚的な編集をおこなうことができる。またユーザはラベルの編集機能とジェスチャを容易に設定することができ、システム設計の面でも編集機能を増やすことは容易になると考えられる。GKJにこの手法を適用することによって、ユーザインターフェイスとユーザの理解を向上させることができると考えられる。

2.4.2 User-Defined 手法

我々は、ユーザが事前にお気に入りのジェスチャと機能の組み合わせを登録できる User-Defined 手法 [19] を提案する。その名のとおり「ユーザが定義する手法」である。それに対してこれまでのあらかじめシステム側でジェスチャを定義していた手法を Pre-Defined 手法とよぶ。

User-Defined 手法では Pre-Defind 手法と異なり、ユーザは以前のように赤色に編集したい時に「R」とコマンド入力をする必要がなく、お気に入りのジェスチャで編集ができる。またユーザはシートを1枚持つだけで編集操作ができるようになる点があげられる。以前であれば編集機能の数だけのパターンシートを準備していたがそれが不必要になる。図 2.4 に 8 個の編集機能を登録した場合のユーザが所持するシートの枚数を示す。パターンシートだと今後、編集機能を増加するのがユーザの不利益になると考えられる。さらにシステム面のメリットは、ユーザ本人の手書きジェスチャを教師データとして扱うので、類似度算出のアルゴリズムを簡素化でき類似度が上昇するだろうと考えられる。



図 2.4: 8 個の編集機能を登録した場合のシート枚数 (左 : Pre-Defined , 右 : User-Defined)

2.4.3 システムの機能・実装

ユーザが要求する機能として、ジェスチャコマンドの記入と編集機能への振り分け、登録したジェスチャの確認、そしてジェスチャの類似度算出と編集処理があげられる。最初に、ユーザは実際のラベルカードにお気に入りのジェスチャを記入する (図 2.5)。その後ユーザは PC 上での操作で編集機能の割り振りを定義する (図 2.6)。作業に入るときに GKJ の参加者の一人はジェスチャコマンドの登録モードを解除する。この登録モードとは、これまでなら大きい筆記があればジェスチャと認識して画面に筆記を表示させていなかったが、大きい入力でも表示させてユーザが PC 上でジェスチャを視認できるように便宜上登録モードをシステムに設ける。またユーザが登録したジェスチャと編集機能を実行に入ってから確認できるように登録ジェスチャ表示モードも設ける。以上の機能によって、作業中にユーザはお気に入りのジェスチャコマンドでラベルの視覚的な編集が可能になる。そして我々はデジタル筆記と効果音のフィードバックに関する研究 [20] を参考にして、ジェスチャの認識成功の有無は PC からの電子音によるフィードバックでユーザに提供する。

User-Defined 手法を導入したシステムの実装について説明する。前回までのシステム



図 2.5: お気に入りのジェスチャを記入

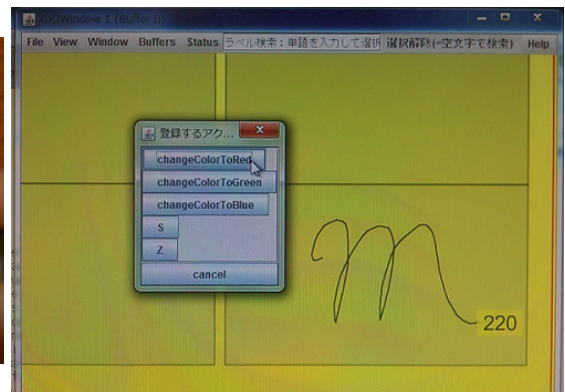


図 2.6: PC 上での操作で編集機能を割り振る

と異なる点はジェスチャコマンドの登録と機能との割り振り，登録されたジェスチャコマンドとの類似度算出である．登録作業の段階と通常作業の段階を分けるためにシステムに登録モードと作業モードの切り替え設ける．登録モードでは，ラベルカードに書かれたジェスチャはPC 上に表示される．その後 PC 上のマウス操作で表示されたジェスチャを選択する，選択するとあらかじめ設定していた機能の一覧がポップアップされてジェスチャと編集機能のリンクができる（図 2.6）．登録作業が終わるとシステムを登録モードと作業モードを切り替えるチェックボックスを外す．この手順でシステムは作業モードに切り替わる，作業モードではユーザが実際にジェスチャを入力したときにジェスチャを画面に表示させずジェスチャ認識アルゴリズムで処理を行う．そして入力されたジェスチャとジェスチャ認識アルゴリズムはこれまでと同様の処理とする．

以上の流れで，システムはジェスチャ登録とジェスチャ認識を処理することができる．

2.4.4 評価実験

我々は提案した User-Defined 手法でユーザの自由度の拡張と機能の増加に伴うジェスチャの認識精度について調査した [21]．そのため評価実験では様々なジェスチャを登録して，ジェスチャコマンドが正しく処理されているかを実験で調べる．具体的に登録するジェスチャのパターンは「 α ， β ， γ ，M，N，S，Z，W， \bigcirc ， Δ ， \square ，？」の 12 種類のパターン（図 2.7）の中から選ぶ．実験ではジェスチャを 4 個，6 個，8 個，10 個，12 個をそれぞれ一つだけ登録した状況でジェスチャコマンドを登録したジェスチャにつ

き 10 回入力を行う。

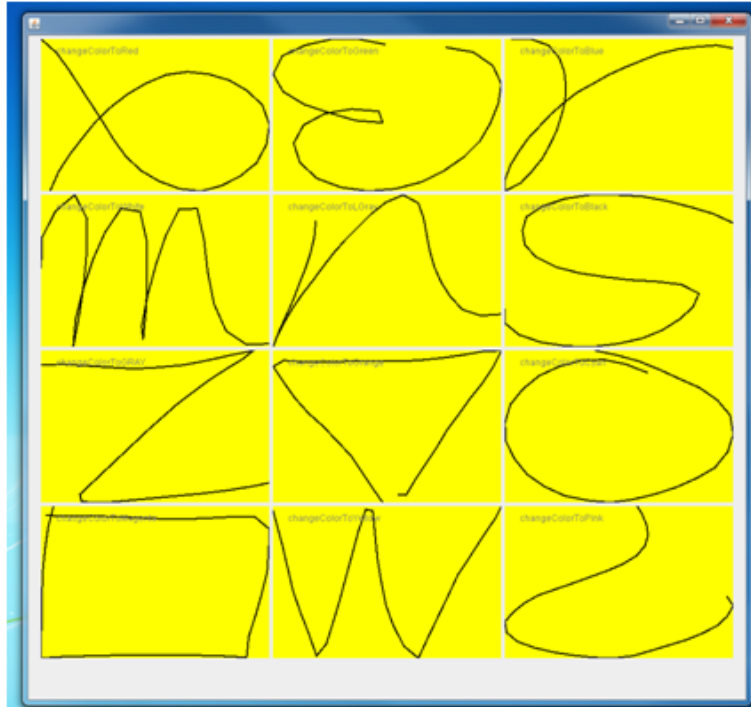


図 2.7: 実験で入力する 12 種類のパターン

2.4.5 結果・考察

実験結果のグラフを図 2.8 示す。精度の指標は適合率 (Precision), 再現率 (Recall), F 値 (F-measure) で表示する。この F 値での表現は、パターン認識の精度としてよく用いられる指標である。

登録可能なジェスチャの数の許容性についての結果を図 2.8 に示す。結果から、登録されたジェスチャの数が増えても若干しか精度が落ちていないことがわかる。現実的に要求される編集機能の数は 10 個程度と想定している、現在考えている編集が色変更、筆記の線の拡大、ラベルへの投票であるのでシステムはユーザの要求に満足できると考えられる。

ジェスチャの形状についての認識結果を図 2.9 に示す。各ジェスチャの単体での認識精度については、たとえば「 α 、 β 」だと精度がよく「○」のパターンの精度が非常に悪い

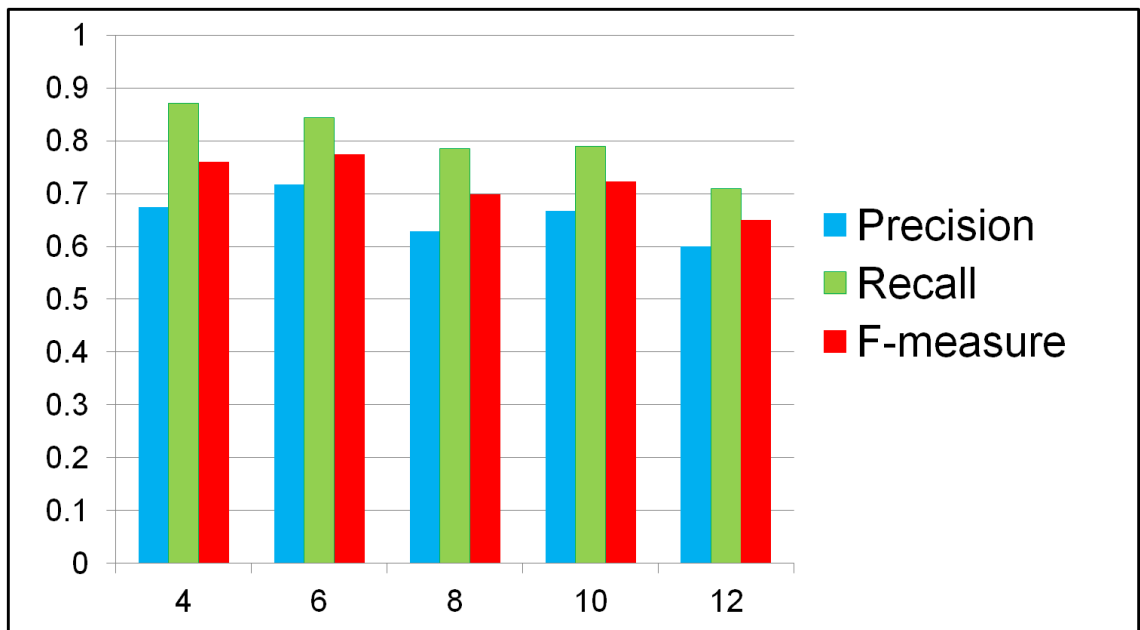


図 2.8: 登録可能なジェスチャの数の許容性

ことがわかる。多様なジェスチャのパターンについてはジェスチャ認識アルゴリズムに問題があると考えられ不十分といえる。現在のアルゴリズムでは「○」が非常に精度が悪いのでアルゴリズムの抜本的な改良を行う必要があると考えられる。しかし Pre-Defined 手法より認識精度が高い結果となったので、ユーザ本人の手書きジェスチャを教師データとして扱うことによる類似度の上昇はわずかだが確認される結果となった。

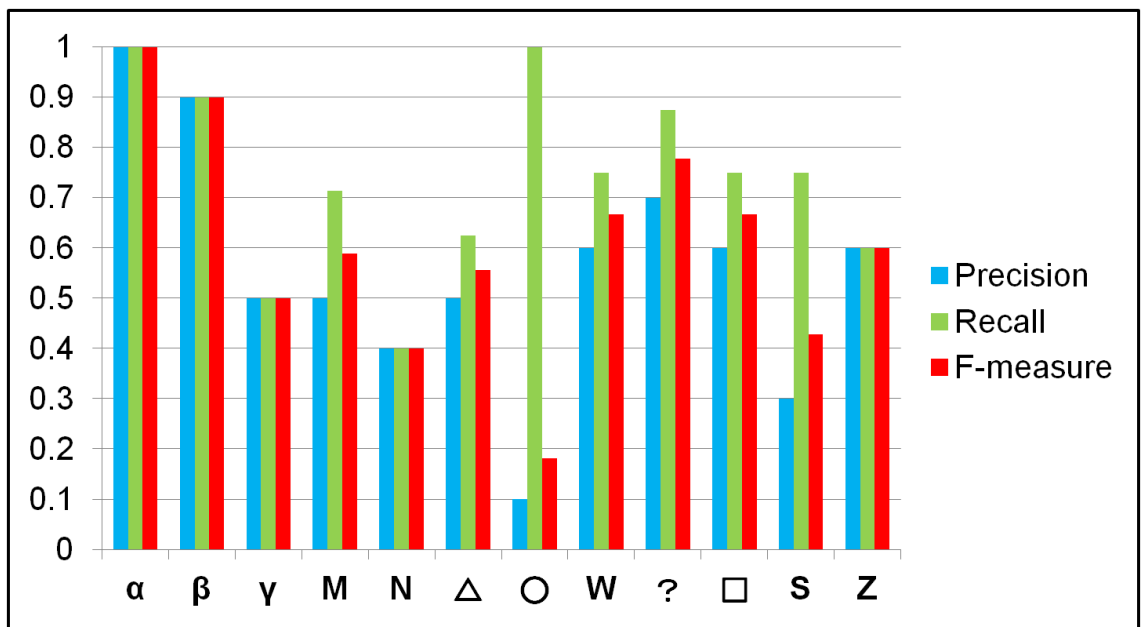


図 2.9: 登録した各ジェスチャの認識精度

第3章 パターン認識アルゴリズム

この章ではこれまでのパターン認識アルゴリズムの問題点と新たなるアルゴリズムの提案を行う。

3.1 これまでのパターン認識と問題点

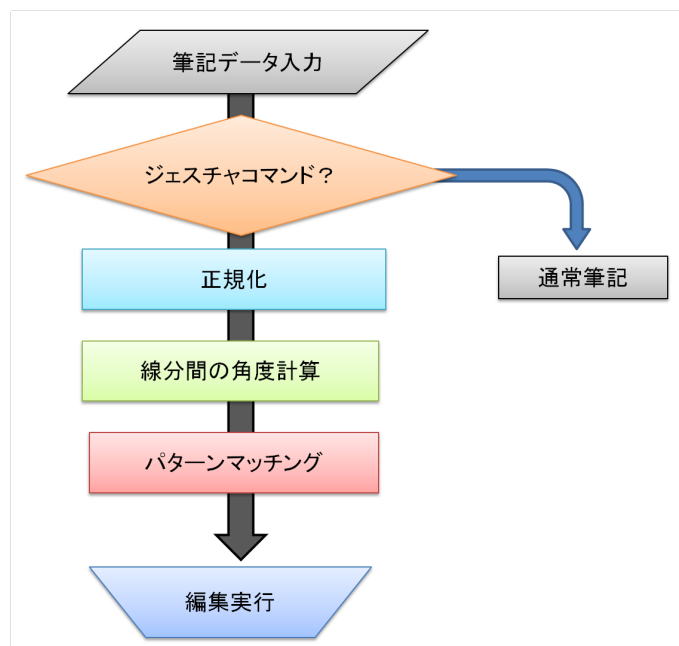


図 3.1: 現在のパターン認識処理

これまでのアルゴリズムのフローチャートを図 3.1 に示す。最初にペンから送信された筆記データをジェスチャコマンドか通常の筆記かに区別する。ジェスチャコマンドと判明したら座標の正規化処理を行い、教師データと入力されたジェスチャのパターンを一樣に扱えるように筆記の座標列であるデータセットの大きさを合わせ加工して特徴点を

算出する。そして連続する線分間の角度をもとめて、その角度の配列を実データ [22] とし、教師データと入力データから角度の類似度を算出する。すべてのパターンとの比較が終了しだい類似度の高いものを選択して編集処理を行う。

このとき線分と線分の角度を実データとして用いたのは入力されるラベルカードに対してジェスチャの回転を考慮したためである。そうすることでジェスチャコマンドがラベルカードに対して回転して入力されてもパターン認識が受け付けられるようになる。角度の算出例を図 2.2 に示した、このように線分間の角度を実データとして扱い、 n 次元ベクトルとしてコサイン類似度を算出する。コサイン類似度の算出方法は以下に示す。

$$\text{類似度} = \frac{\langle \overrightarrow{\text{入力ジェスチャ}}, \overrightarrow{\text{教師データ}} \rangle}{|\overrightarrow{\text{入力ジェスチャ}}| \times |\overrightarrow{\text{教師データ}}|}$$

問題点について、まず 1 つに線分間の角度がすべて正数で計算されていた点があげられる。つまり右カーブと左カーブの区別ができていなく、カーブの曲がり具合が強いか弱いしか認識できていという現状であった。例えば「p」と「q」のジェスチャを入力するとどちらも同じジェスチャとして認識してしまう。

2 つ目に、特徴点算出にジェスチャのストロークの大きさを強制的に合わせていた点である。仕組みは入力された座標点の全長を計算して等分で区切った位置に新たに点を置き特徴点にしていた。これによって角が多いジェスチャを処理すると角の丸みが消滅してしまい、本来特徴的である点が失われてしまう恐れがあった。

こういった問題点があるのでジェスチャの認識が正しく行われていなかったと考えられる。そこで我々は現在の問題を解決した新しいアルゴリズムを検討した。

3.2 新たなるアルゴリズムの原理

今までのアルゴリズムを刷新すべく正規化、特徴点算出、2 種類の指標を用いるアルゴリズムについて説明する。

3.2.1 正規化

正規化処理では入力ジェスチャの座標の平行移動と拡大を行う。ラベルカードは一枚の大きな台紙を切り取って 126 枚に分割されて構成されたものである。ラベルカードに

割り当てられている座標の点はすべて異なり，比較する2つのラベルカードの座標情報を同等に扱うことはできない．なので我々は正規化の処理として座標(0,0)に平行移動する処理を行う．

またジェスチャは実ラベルカードの物理的な大きさのため入力ジェスチャの大きさに制限はあるが個々の大きさに微妙なばらつきがあるため，ジェスチャの大きさについても正規化を行う．すべてのジェスチャは実際のカードの比にならい 300×200 の大きさに収まるように拡大される．我々は以上の2つの流れを正規化処理とする．

3.2.2 Ramer method - 特徴点の選択

一般にオンライン手書き文字認識の特徴点の選択にはRamerの方法が多く用いられる[23]．我々も特徴点の算出にRamerの方法を取り入れる．

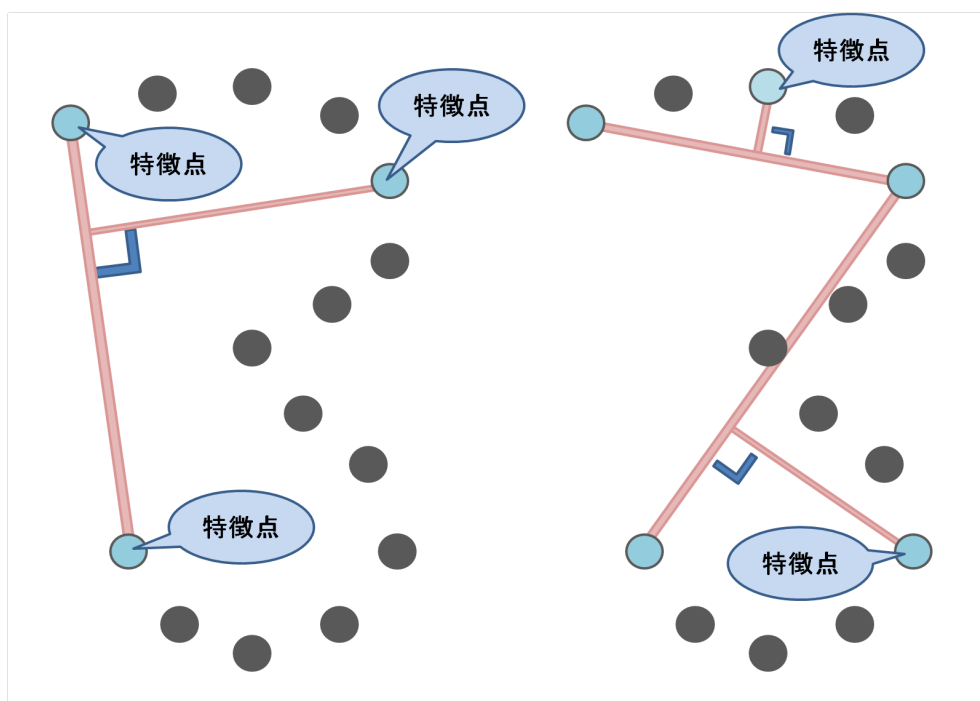


図 3.2: 左 : Ramer の最初の手順, 右 : 2 番目の手順

サンプルを図 3.2 に示し Ramer の方法について [23] から引用して説明する．

まず、各ストロークの最初と最後の筆点を特徴点として抽出する。そして、2隣接特徴点の連結線からそれらの中にある筆点への距離を求め、しきい値を超える最遠の筆点を特徴点として選択する。全ての2隣接特徴点に対して、その連結線からその間の筆点への距離がしきい値を超えなくなるまで特徴点抽出を再帰的に繰り返す。

そして最終的に「3」と書かれたジェスチャのパターンは **Ramer** の方法を適応すると図 3.3 のような特徴点を得られる。閾値のパラメータを調節することで得られる特徴点の数が増減する。

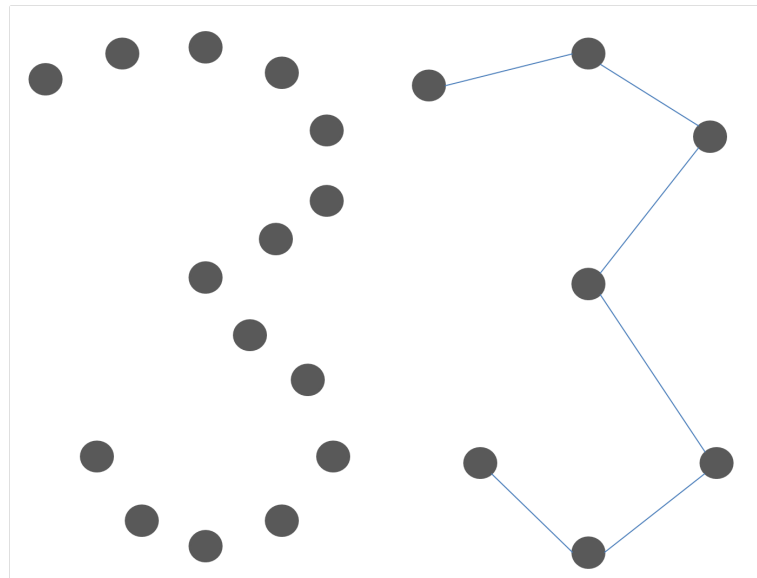


図 3.3: 左 : 入力パターン, 右 : Ramer の方法を適応後

3.2.3 対応点同士のユークリッド距離 - 指標 1

特徴点から比較する指標として特徴点同士のユークリッド距離を用いる方法がある。比較している2つのストロークの対応する点の距離を測り近ければ重み付けを行うアルゴリズムである。まず特徴点の少ないストロークを基準として、基準点に対応する順番付近の点との距離を調べる、そして距離が閾値以内であれば近傍点と判断して重み付けを行う、その重みを積み重ねて基準のストロークの長さで割って類似度を算出する。

具体例として図 3.5 に「3」と「S」を比較する工程を示す。左図では1番目の特徴点を調べており、同じ「3」の1番目の点が重み付けを行うエリアに入っていないので何も行わない。右図では「S」の最後の点を調べており「3」の最後の点も重み付けを行うエリアに入ってるので重みを付ける。そしてこの手順を基準の特徴点すべてに対して行う。このように基準のストロークの順番に沿って近傍点の有無を調べて重み付けを行い類似度を算出する。

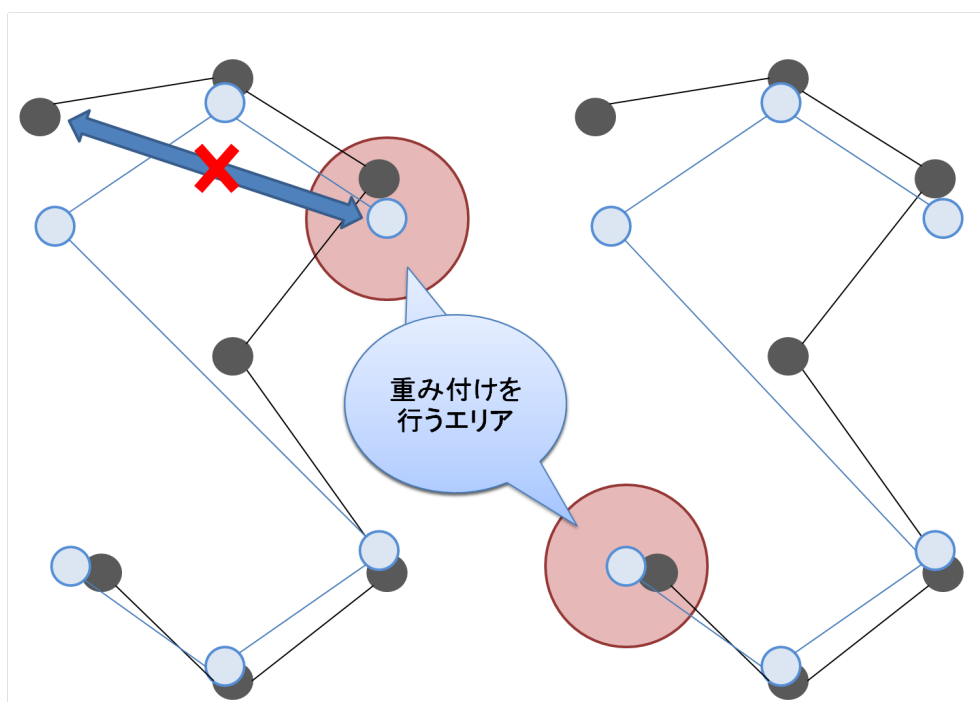


図 3.4: 「3」(黒色)と「S」(水色)での対応点同士のユークリッド距離

3.2.4 Freeman's chain code - 指標 2

特徴点から比較する指標として連続する特徴点を8方向のエリアにカテゴリ分けする方法 [24, 25] を用いる。これはある特徴点を中心として 360° を 45° で8分割し、次の特徴点がどのエリアに属するかを8カテゴリに分類(図 3.5)する方法である。そのエリアはカテゴリの配列に整理され、Freeman's chain code [24] と呼ばれる。そして比較する Freeman's chain code と基準となるカテゴリと同じか両隣りのカテゴリに存在すれば重み

付けを行い、指標 1 と同様に重みを積み重ねたものを基準の Freeman's chain code の配列数で割って類似度を算出する。

例えば図 3.5 のエリア分けに従い、簡単な形として「C」が入力されると Freeman's chain code は {8,7,6,5,4,3,2,1} になる。カテゴリが両隣であっても重み付けをする理由が、エリアの境界付近でカテゴリ分けされたものは隣のエリアの可能性があるので冗長性を持たせるために両隣のカテゴリでも重み付けを行う。指標 1 と同様に重みを積み重ねたものを基準の Freeman's chain code の配列数で割って類似度を算出する。

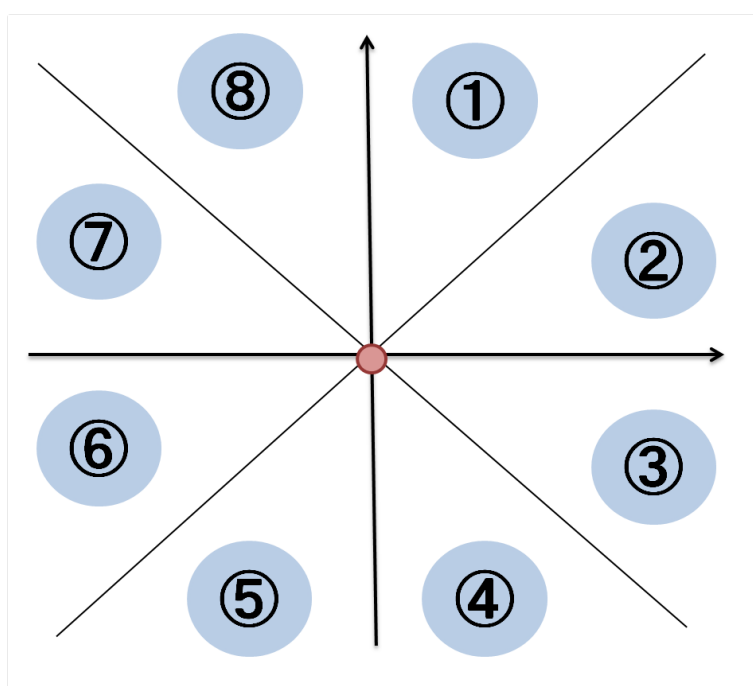


図 3.5: 8 方向のエリアにカテゴリ分け

3.3 アルゴリズムの評価実験 - 1

本実験に入る前に閾値に関する予備調査を行い、評価実験 1 の実験内容と結果について説明する。

3.3.1 予備調査 -Ramer の閾値-

被験者を集めて評価実験を行う前に予備調査を行う。ラベルカードは 125×215 ドットで構成されているので Ramer の方法で扱う距離の閾値について事前に調整する必要がある。閾値を 5, 10, 15, 20, 30 と変化させていき特徴点の生成される数について調べる。結果を表 3.1 に示す。

表 3.1: Ramer の方法の閾値による特徴点の数の変化

入力ジェスチャ	ジェスチャの座標の数	閾値：5	閾値：10	閾値：15	閾値：20	閾値：30
α	37	10	7	6	5	5
β	61	15	10	8	8	7
γ	35	8	6	4	4	3
m	69	17	10	10	7	7
n	41	11	7	6	6	6
\triangle	24	4	4	4	4	4
\circ	46	10	9	5	5	5
w	33	5	5	5	5	5
?	40	10	8	4	4	4
\square	26	5	5	5	5	5
s	49	12	8	7	5	4
z	24	5	4	4	4	4

3.3.2 予備調査 -指標 1-

指標 1 の基準点からの距離の閾値についても実験の前に調査する。距離の閾値を 30, 40, 50, 60 と変化させていき「 α , β , \circ 」の 3 種類のジェスチャを登録してそれぞれ 10 回の入力操作を行う、そして認識成功回数を測る。その際の Ramer の閾値は表 3.1 から 10 で設定する。結果を表 3.2 に示す。結果から類似度の低さで足切りする閾値を下げれば多様なジェスチャに対応できると考えられる。

3.3.3 実験内容

実験ではアルゴリズムの適応度とジェスチャのパターンの多様性について調査することを目的とする。被験者を 5 人集め、2 種類の指標を用いたアルゴリズムに関して 3 章で

表 3.2: 指標 1 の距離の閾値による認識成功回数の変化

入力パターン	閾値：30	閾値：40	閾値：50	閾値：60
α	7	10	8	9
β	4	3	4	7
○	0	1	9	10
類似度の低さで足切りをしない場合				
α	10	10	10	9
β	9	10	10	8
○	5	5	10	10

行った実験と同様の手順で行った。被験者は 12 個のジェスチャの登録を行い、それぞれのジェスチャに対して 10 回の入力操作を行う。

指標 1 について表 3.2 よりユークリッド距離は 50, 60 とし類似度の棄却域を低く設定する。指標 2 について、基準の code が対応する code と比較する数を深さと呼び、深さ 1 なら同じ位置と 1 つ先にある code について探索する。そして指標 2 では深さ 1 と 2 を評価する。また指標 1 と 2 を組み合わせて互いの類似度を加算した方法も評価する。

3.3.4 結果

5 人の被験者による指標 1, 2 と 2 種類の指標を組み合わせた認識成功回数の平均結果を示す。

表 3.3: 指標 1 による認識成功平均回数

入力ジェスチャ	α	β	γ	m	n	Δ	○	w	∞	□	S	z	平均
閾値：60	9.6	8.2	9.2	5.4	7	10	5.8	8	7	10	9	9.4	8.3
閾値：50	9	8.8	8.6	5.2	6.6	10	5.4	8	7.2	9.8	8.4	7	7.8
閾値：40	9	8.4	8.4	5.4	7	9.8	5	8	7.2	10	8.2	5.2	7.6

表 3.4: 指標 2 による認識成功平均回数

入力ジェスチャ	α	β	γ	m	n	Δ	○	w	∞	□	S	z	平均
比較の深さ：1	8.2	8.4	8.2	4.6	5.4	7.8	3.4	7.8	2.8	1.4	7.2	7.8	6.1
比較の深さ：2	8.4	8	5.8	6	4.4	3.8	4	6	3.2	1	5.6	7.4	5.3

表 3.5: 指標 1 + 2 の方式による認識成功平均回数

入力ジェスチャ	α	β	γ	m	n	Δ	\circ	w	∞	\square	S	z	平均
距離 : 60, 深さ : 1	9.6	9.6	8	4.6	6.8	10	3.6	9.2	7.6	9	9.2	9.8	8.1
距離 : 50, 深さ : 1	9	9	8.4	5.2	6.2	10	4	8	6.6	8.6	8.8	9.4	7.8

3.4 アルゴリズムの評価実験 - 2

本来「ジェスチャ」と聞くと一般には図 3.6 に示すような形を想像する。実際にペンジェスチャの入力パターンは [14, 17] にもあるように図 3.6 の様なシンプルで記号の様な形が多い。これまで我々が実験で入力していたジェスチャは難しい形を想定していた可能性がある。なので、我々はより一般的な「ジェスチャ」の入力についても調査しなければならないと考える。

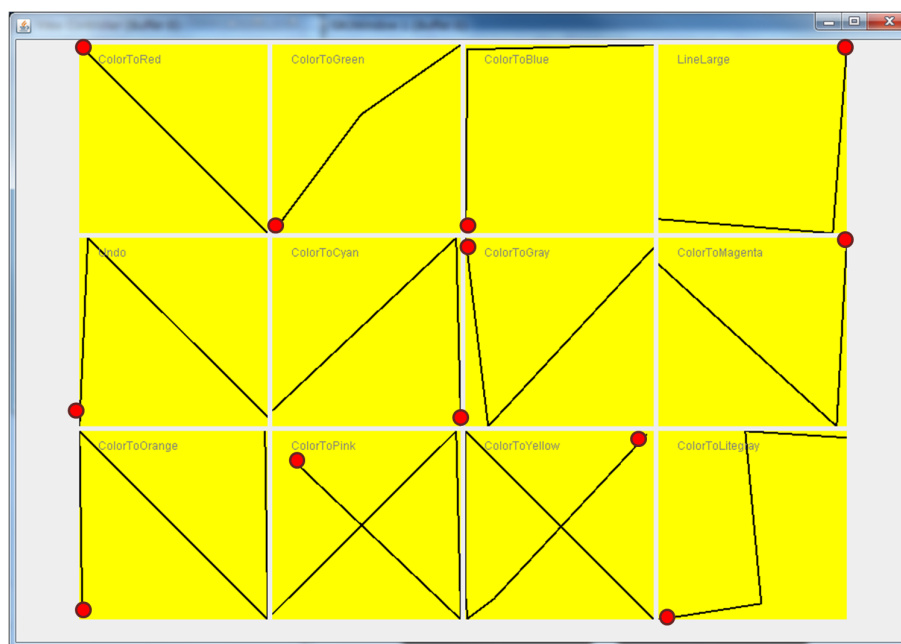


図 3.6: 一般的なジェスチャの例 (赤い点が開始点)

3.4.1 実験内容

実験ではシンプルで簡単なジェスチャについて調べる。実験では被験者は一人で図 3.6 の 12 個のジェスチャを事前に登録する，評価実験 1 と同様にそれぞれ 10 回ジェスチャ入力を行い，認識成功回数を調べる。特徴点が四隅に配置されるように構成されたシンプルなジェスチャを実現するために Ramer の閾値を 30 とし曲線のない直線的要素のみのジェスチャを登録する。このとき指標 1 (距離 : 60)，指標 2 (深さ : 1) とこの二つを組み合わせた指標 1 + 2 の 3 つのアルゴリズムを用いて調べる。

3.4.2 結果

結果を表 3.6 に示す。このときの入力ジェスチャは表に表せないで，便宜上左上から右にかけて「A」～「L」の英数字を割り振る。

表 3.6: シンプルなジェスチャの認識回数

入力ジェスチャ	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	平均
指標 1 (距離 : 60)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
指標 2 (深さ : 1)	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	9.2
指標 1 + 2	10	10	9	10	10	10	10	0	10	9	10	10	9

3.5 考察

評価実験 1 の結果から，指標 1 の「対応する点同士のユークリッド距離」をジェスチャ認識に用いる方の認識率が高い結果となった。我々の GKJ の環境では閾値 60 と設定することで平均 8.3 回成功と，これまでの線分間の角度を用いる認識精度よりは高い結果となった。表から「○」の様に曲線が多いジェスチャでは認識精度がわるく，「△，□」の様な Ramer の特徴点が少ないジェスチャについては良い認識精度となった。指標 2 に関しては，指標 1 ほど認識精度は全体的に良くななく GKJ に最適化されてはいないと考えられ，重み付けの処理のアルゴリズムに改善が必要であると考えられる。

評価実験 2 の結果から，シンプルで一般的なジェスチャを用いることで約 100% の精度で正しくジェスチャが認識されることが判明した。ジェスチャを限定的かつシンプルにすることで我々が採用した指標が良いものであると考えられる。指標 1 の原理だと何番

目にどこの四隅に特徴点が存在しているかで認識処理を行っているのでシンプルなアルゴリズムになっている。しかし、User-Defined でユーザは登録するジェスチャについて何番目にどこの四隅に特徴点を置くかを考えて配置しないとイケないので、実験の様にユーザがジェスチャを 12 個登録することは難しいといえる。指標 2 でもジェスチャの認識は成功しているが入力ジェスチャ「D」が失敗している。これは「D」と「H」の Freeman's chain code はどちらも {5, 7} となっておりエリア分けの範囲と分解能の少なさが原因として考えられる。今後はエリアを 45° ずらす場合と分解能を倍の 16 エリアに分ける場合について検討が必要である。

この 2 つの結果から、我々が実装したアルゴリズムでは「ジェスチャ」をシンプルなパターンに限定すると精度の高いジェスチャ認識が可能になったと考えられる。ユーザとしては User-Defined での「 α , β 」のようなジェスチャを認識率 8 割で用いるか、Pre-Defined の様な一般的なジェスチャを認識率 100% で用いるかをトレードオフしなければならないが、認識率の改善で編集操作にジェスチャを用いることはより快適になったと考えられる。今後は特徴点の大小やジェスチャの曲線に関わらず、ジェスチャコマンドができるアルゴリズムについて検討したい。

第4章 拡張現実感 (AR) 技術の導入

この章ではジェスチャコマンドの成功フィードバックを利用者にわかりやすく示すために導入した拡張現実感 (AR) 技術について説明する。

4.1 課題と手法

我々はこれまでに参加者個人が PC を利用せずペン操作のみでアノテーションや視覚的な編集を施すための手法として、ジェスチャコマンドによる編集手法を提案してきた。それによって参加者が作業中にラベルに対する編集を直観的かつ任意のタイミングで行うことができるようになった。

しかし実世界への視覚的なフィードバックはサポートされていないため、ジェスチャコマンドを行った参加者自身が編集の結果を認識できず、編集したラベルを見落とすなど、他の参加者に編集された箇所を提示できないといった問題点があった。それによって参加者は作業に集中することができず PC を何度も作業中に確認してしまう懸念があった。

そこで我々は GKJ で正確にラベルの位置座標を取得できることから拡張現実感 (AR) 技術を用いて実世界上のラベルの図解について視覚的に拡張する手法を提案する。AR 技術を用いるとジェスチャコマンドで行っていたラベルの色強調、ラベルの関係線、ラベル同士のグループ化といった視覚的なラベルの付加情報を実世界に拡張することができる (図 4.1)。そうすることでユーザは多くのラベルの中から強調されたラベルを見つけることが容易になり、GKJ システムでの処理内容と図解の状態をユーザが PC を見ずに確認することが可能になる。

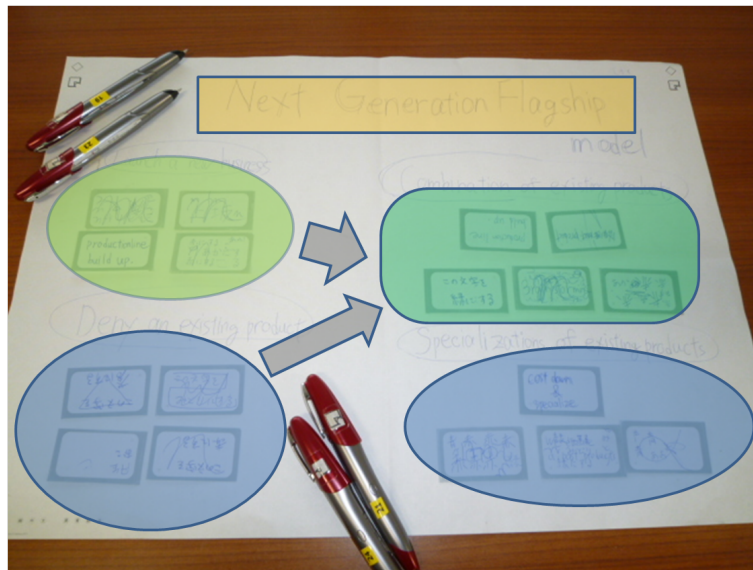


図 4.1: 拡張現実感 (AR) の導入イメージ

4.2 A-GKJ の提案

今回我々は作業面上部に設置したプロジェクタを用いて実世界の図解に視覚的な付加情報を直接重畳する手法を提案する (以下, A-GKJ と表記する)[26].

我々は以前にラベル情報の実世界へのフィードバックとして **AwareTable** [27] を考案した. これはラベル下面に印刷した 2 次元バーコードをテーブルの下に設置したカメラで読み取ることでラベル位置を取得し, ラベルの付加情報をテーブル下部に設置したプロジェクタで天板上に投影する仕組みである (図 4.2). この研究でも作業者は AR 技術を用いて付加情報を得ることはできたといえる. しかしテーブル下面から投影する方式であるため設置の手間は軽減できる半面, 実世界の紙ラベル表面に対して付加情報を提示する (例えば背景を赤く強調表示する) といった表現には不向きであるという欠点があった.

そういった中, 今回作業面上部に設置したプロジェクタから投影することで, ラベルに対して付加する視覚表現の幅が広がると考えられる. また **GKJ** と併用するラベル編集操作であるジェスチャコマンド本来の利点を生かすことができ, 参加者は編集操作以外のときも PC の存在を忘れて作業に集中することが可能になる. そしてジェスチャコマンドを行う場と処理の結果が表示される場を統一することで参加者を作業場に引き込ま

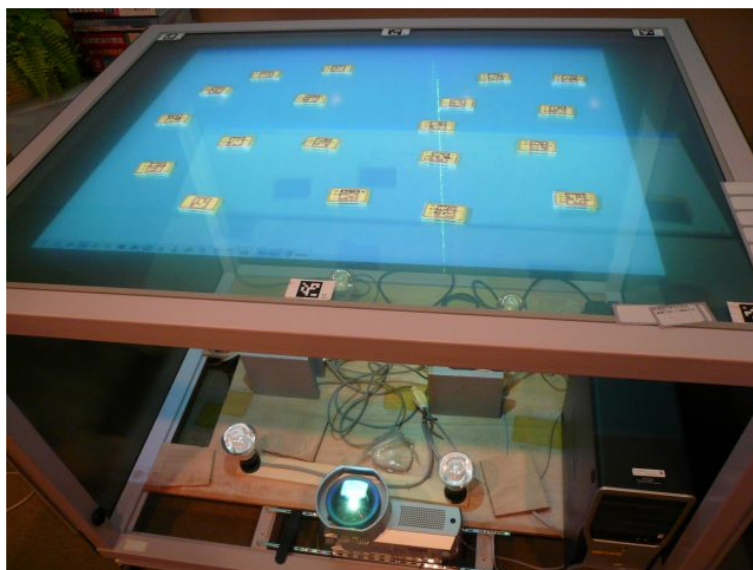


図 4.2: AwareTable:三浦らの研究

せることが期待できる。

デジタルペンと AR 技術を組み合わせることで AwareTable と同様に投影面とラベルの位置合わせが手軽にでき、作業場所を選ばず、普通のテーブルの上で作業ができるようになると考えた。

4.3 A-GKJ の機能

ユーザのラベルに対する編集機能として、ラベルの色強調、ラベル間の関係線、ラベル同士のグループ化、アノテーションがあげられる。ラベルの色強調は、アイデアを書いた本人が自身のラベルを強調して見せたい時に有効であり、ラベルの階層構造をつくる時にはレイヤーごとにラベルの色を変えるとわかりやすくなり、ラベルの区別で混乱が起きにくくなる。ラベル間の関係線とグループ化は、KJ 法では図解化してラベルカードである付箋紙の色を変えたりするのでより実世界でのグループ活動が可能になる。またデジタルペンの物理的な制約のため太文字で書くことができなかったが、AR によって擬似的に太い線で記入することができ強調したい部分をはっきりと書くことができるようになる。

4.4 システムの構成

今回のシステムはプロジェクタと GKJ システムを用いる。プロジェクタは GKJ のソフトウェアが起動している PC に接続され PlayAnywhere [28] と同様に、手軽に設定・運用ができるようになる。プロジェクタは作業員自身が所有する Penlight [29], Mouselight [30], 携帯プロジェクタを片手に持ちながら作業を行う研究 [31] があるがグループ作業の状態を参加者全員に提示したいのでプロジェクタは 1 台とした。投影のトリガーについてはこれまで使用してきたジェスチャコマンドを割り当てる。ジェスチャコマンドは PC 側だけで視覚的な表示がされていたが、その処理を流用してプロジェクタ側にも投影できるようにシステムを再構築する。プロジェクタの映像は台紙までの最適な位置にラベルの視覚的な付加情報を投影する仕組みである。GKJ では複数人で作業台を取り囲む形になるので、プロジェクタの投影方法は作業台の真上から映す方式 [32] が最適と考えた。

プロジェクタの投影する位置について 2 つの方式が考えられる。天井からプロジェクタ本体をつるす「つりさげ方式」と投影映像を鏡で反射させて上から重畳させる「鏡面反射方式」である。以下に、この 2 つの方式について説明する。

4.4.1 つりさげ方式

A-GKJ で用いるプロジェクタの仕様は重さ 1.8kg, 寸法が 270 × 43 × 199mm (突起部除く) である。プロジェクタとしては比較的軽いが天井に取り付けるのは運用の面で非現実的である。というのも A-GKJ を導入する相乗効果として「投影面とラベルの位置合わせが手軽にでき、作業場所を選ばず、普通のテーブルの上で作業ができる」であるので天井に取り付けることは望ましくない。

そこで我々は作業台の上に台座の骨組みを設置し、そこにプロジェクタを取り付ける (図 4.3)。この方式であれば作業場が変わっても簡単に A-GKJ でグループ活動が行える。

4.4.2 鏡面反射方式

鏡面反射方式は、空間的に場所を取らない方式である。同様の方式を用いた研究 [33] の実機を図 4.4 に示す。鏡の反射を利用してプロジェクタを動かさずに投影面を移動させることが可能である。この方式はプロジェクタを作業台に水平にしておくので設置や

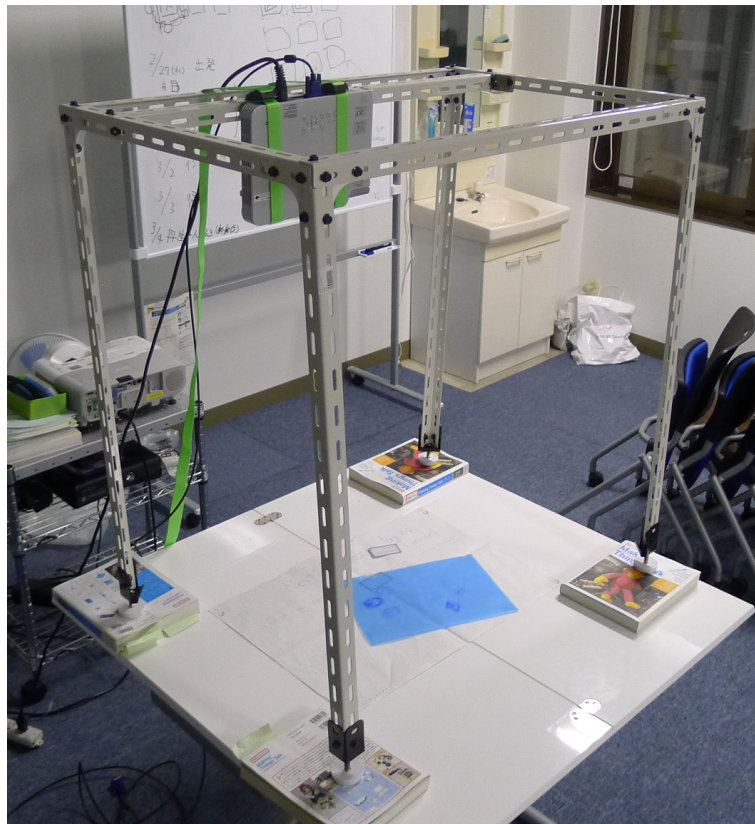


図 4.3: プロジェクタのつりさげ方式

固定する台座が必要ない，準備・設置は簡単だが鏡の位置の補正を手動で行わなくてはならず投影面の位置補正に手間がかかってしまう．さらに市販されている鏡だと微妙に曲がっておりきれいな反射面が得られず高価で特殊な鏡を準備しなくてはならない．もしくは特注で高価な専用装置を購入する必要があるのでシステムの導入面で難しい．

我々は以上2つの方式についてコストとユーザビリティを考慮して，ユーザに手間を取らせないつりさげ方式を採用し実装する．

4.5 評価実験

我々は視覚的フィードバックについてつりさげ方式を採用した A-GKJ を評価する．



図 4.4: 鏡面反射方式 -参考 [33]

4.5.1 評価内容

これまでの GKJ ではジェスチャ成功による編集効果の実世界へのフィードバックがなく、PC の画面や音での確認しか行えなかった。そのためユーザは編集操作を気軽に確認するには不十分であった。A-GKJ では AR を用いて作業の場と編集効果の提示箇所を同一にできるため、ユーザの作業中のユーザビリティが増すと考えられる。また逆にプロジェクタの光によってラベルに書いた文字が読みにくくなり、ユーザビリティが低下することも考えられる。

評価実験では、編集操作の実世界へのフィードバックによるユーザのラベルカードに対する視認性について調査する。具体的には、AR による編集操作の確認容易性、ハイラ

イト効果によるカード探索の容易性とラベル内の文字の認識容易性、および認識成功の確認動作の低減による作業の集中度についてユーザ評価を行う。そして図解の状況の確認動作が低減することによる作業効率の上昇を調べるために、編集操作にかかる時間を計測する。

4.5.2 実験工程

実験は GKJ と A-GKJ の実機が運用できる環境で行う。実験の被験者として 20 代の学生を 20 人集めた。まず被験者全員にデジタルペンの使い方とジェスチャコマンドの説明をしてデジタルペン特有の操作に慣れてもらい、実際のタスクでリハーサルを行い練習してもらった。このとき被験者は書きやすいジェスチャコマンドを 2 つ登録するか Pre-Defined でジェスチャを登録する。作業環境は KJ 法の作業で大量のラベルが台紙上にある状況を想定して、台紙に 18 枚のアイディアを記入済みのラベルカードを置いて位置決め(スキャン)を行っておく(図 4.5)。

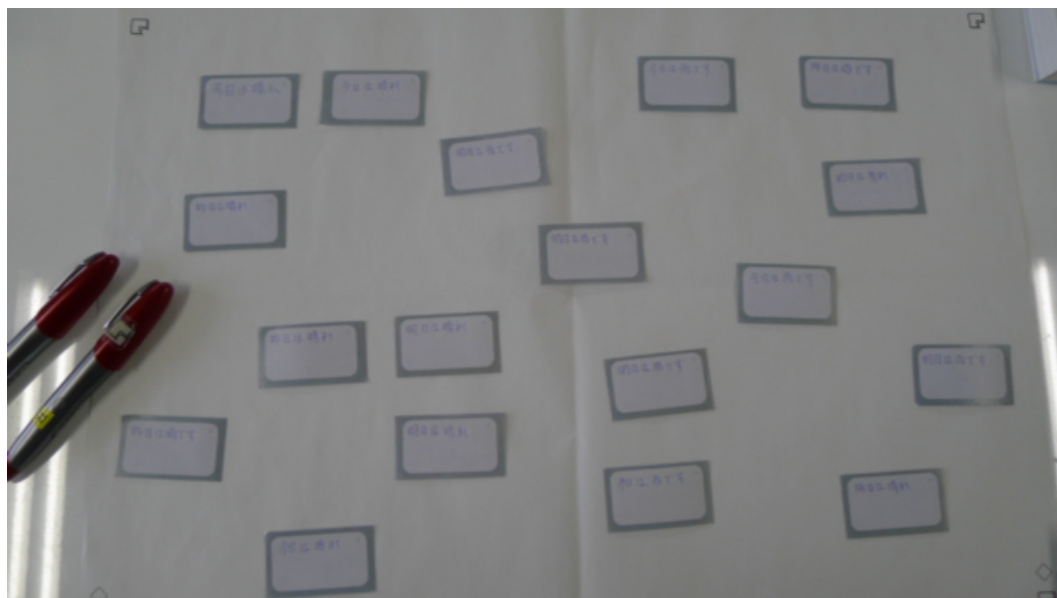


図 4.5: 実験の際の作業台の状況

実験のタスクは一人で行い被験者は PC 画面の提示、音または台紙への AR 表現によって位置決め・編集効果の成功を確認する。GKJ の操作では確認のために作業台に PC 画

面を表示した。そしてタスクが終わると被験者は行った手法についてのアンケートを記入する。アンケート記入が終わると、もう一方の手法で同じタスクを行う。タスクが終わると実験で行った2つの手法の比較についてのアンケートを記入してもらう。

実験のタスクは被験者が書いたと想定する6枚のラベルカードを台紙の自由な場所に位置決めを行い、被験者本人が位置決めがうまくいっているかを確認する。デジタルペンの送信操作は6枚すべてをスキャンしてから一回送信する。被験者は位置決め後にすべてのラベルカードに対して同一のジェスチャコマンドを行いラベルカードの色変更をする、そして編集されたかの成功確認を行う。編集確認後に、被験者はこちらが口答で指定した1枚のラベルカードに書かれている内容と似ているものを3枚探し色を変更する、その際に先ほどと異なるジェスチャコマンドを入力して3枚のラベルカードを同じ色に変更する。またタスクを行っている最中は被験者の隣に2名配置してアイデアの内容や作業について自由に会話をしてもよいことにする、そうしてタスクを行いながらグループで作業を行う状況を構築する。またタスク終了までの時間を計測することを被験者に事前に伝えておく。

実験について半分の被験者は GKJ → A-GKJ の順でタスクを行い、残りの被験者は A-GKJ → GKJ の順で行った。

4.5.3 アンケート内容

タスクの後と実験終了時に被験者に評価アンケートを行ってもらう、以下の表にアンケート項目を示す。表 4.1 の質問内容は1点～5点での5段階の評価を行ってもらう、1点から悪い、5点を良いとした。表 4.2 の質問内容は GKJ, A-GKJ の等間隔で5の尺度でどちらの方が良いと感じたかで線分上に選択してもらう形式とした。アンケートの作成にあたっては [34] を参考にした。

4.6 結果・考察

表 4.3 の A-GKJ と GKJ それぞれの方法でのアンケート結果から、平均はプロジェクタを用いた A-GKJ の評価が高く PC ベースの GKJ のほうが低い評価となった。それぞれの平均に差があるか調べるため両側 t 検定を用いる。操作結果の確認については、T

表 4.1: タスク後のアンケート項目

項目	質問
1	操作結果の確認はしやすいか？
2	操作結果の確認動作（視線移動）は作業の妨げになりませんでしたか？
3	作業に要した時間は何分くらいだと思いますか？
4	作業台のラベルカードは探しやすかったですか？
5	作業台（or PC）のラベルカード内の文字は見やすかったですか？

表 4.2: 実験の終了後の比較アンケート項目

項目	質問
1	操作結果の確認がしやすい方
2	確認動作が妨げにならない方
3	作業台のラベルカードが探しやすい方
4	ラベルカード内の文字が見やすい方
5	今後、PC もしくはプロジェクタの提示方法を利用したいか？

(19)=2.24, $p = 0.037 (< 0.05)$ となり A-GKJ のほうが確認しやすいといった傾向が得られた。PC 画面の様な狭いエリアで確認するより AR で図解状況を作業台上に直接重畳させる方が結果が確認しやすいといった意見もあった。確認動作が妨げになるかについては、 $T(19)=4.53$, $p << 0.05$ となり 2 つのアンケート結果の平均に差が大きくあることが確認できた。やはり被験者は作業の場に直接重畳される方が確認動作に伴う頭や視線の動きに手間がかからないことが確認できた。ラベルカードの探し易さは、 $T(19)=1.44$, $p = 0.165 (> 0.05)$ となり 2 つの手法に差は見られなかった。実験では被験者が書いたと想定する 6 枚のラベルカードに色を付ける編集操作を行い自身のカードと他者のカードの見分けがつくようにしたが、被験者には探すための目印とは感じてもらえないという結果になった。しかし差が出なかったということは、AR の提示があっても被験者は実際のカードを探すのと同等の感覚で探すタスクを行えたと考えられる。カード内の文字の見やすさは、 $T(19)=3.57$, $p << 0.05$ となり有意な差が得られた。被験者はハイライトがないラベルカードの文字は通常感覚としてとらえ普通であると答え、ハイライトがある方が照らされて見やすくなったと感じた意見があった。先に GKJ で実験を行った 10 人の被験者の平均は 3.5 でやや見やすいといった結果になり、A-GKJ の後に GKJ で実験を行った被験者の平均は 2.8 となりやや見にくいといった結果になった。

実験時間について表 4.4 から、アンケートでの主観時間と計測した実時間で平均に

表 4.3: アンケート結果

アンケート (良: 5 ~ 悪: 1, 人数 n=20)	AGKJ	(分散)	GKJ	(分散)
操作結果の確認はしやすいか?	4.5	0.47	3.95	0.99
操作結果の確認動作 (視線移動) は作業の妨げになりませんでしたか?	4.5	0.68	3.05	1.42
作業台のラベルカードは探しやすかったですか	3.35	1.19	2.9	1.04
作業台 (or PC) のラベルカード内の文字は見やすかったですか	4.1	0.83	3.15	1.60
実験終了後の比較アンケート (AGKJ: 5 ~ GKJ: 1)			平均	分散
操作結果の確認がしやすい方			4.3	0.96
確認動作が妨げにならない方			4.0	0.95
作業台のラベルカードが探しやすい方			3.8	1.01
ラベルカード内の文字が見やすい方			3.5	1.63
今後, PC もしくはプロジェクトの提示方法を利用したいか?			3.9	0.94

表 4.4: 実験時間

	AGKJ	(分散)	GKJ	(分散)
アンケート	2 分 57 秒	2.05	3 分 12 秒	1.43
実時間	2 分 3 秒	0.31	2 分 5 秒	0.29

差は見られず, それぞれの手法の主観時間と実時間に差があるかを両側 t 検定で調べると, $T(19)=-0.54$, $p=0.59(> 0.05)$ となりプロジェクトで確認する方が作業時間が早く感じるといった効果は得られなかった. 確認のための PC を被験者の真正面に配置していたため確認作業や視線移動に時間を要するほどではなかったと考えられる.

2つの手法での比較アンケートから, プロジェクトを用いた A-GKJ のほうが GKJ の確認方法より安定して好まれる傾向があることがわかった. ただラベルカードの文字の見やすさの評価にはばらつきが大きく, ハイライト効果による文字の見え方に好みの差が出たと考えられる.

以上の結果より, 実世界の図解に視覚的な付加情報を直接重畳する手法によって操作結果の確認, 確認動作が妨げにならない点, 文字の見やすさについてユーザ体験を向上することができたと考えられる. しかし先にも懸念していた通り, AR によるハイライト効果で逆にラベルカードが見つらなくなることも考慮しなくてはならないと確認できた. そして実際の作業中では編集操作を行ったユーザの正面に確認のための PC が必ずあるとは限らないので, 実際の運用では A-GKJ の方が使いやすいと感じてもらえると考えている.

第5章 まとめ

我々は、デジタルペンを用いた KJ 法システムの利便性を向上を図るために様々な角度から提案を行ってきた。

これまでの GKJ システムでは紙をまたぐ筆記のみを特殊な操作に割り当てていたため、図解の編集作業をペン操作のみで行うことができなかった。そこで我々は作業中のペンジェスチャによって編集操作ができるようにジェスチャコマンドを提案した。このジェスチャコマンドの提案によってユーザは作業中に図解の編集操作ができるようになり、KJ 法の参加者が紙への操作を主体とした作業で自然な振る舞いで作業を行うことができる。ユーザ評価実験の結果から手書き文字入力インターフェイスの環境では提案したジェスチャコマンドがユーザに好まれる操作手法であると確認できた。

しかし実験後の聞き取り調査と実験結果から、溝が事前に掘られたパターンシートを用いることより自身のジェスチャで編集操作をしたいといった傾向がみられた。そこで我々は、KJ 法の参加者であるユーザ自身が自由にオリジナルのジェスチャを登録して使用が可能となる手法を提案した。この提案によって手書き文字入力の環境における編集インターフェイスとユーザのシステムに対する理解度を向上させることができる。ユーザが定義する手法を実装したシステムの評価実験より、我々が想定する編集機能の数である 10 個程度でも登録したジェスチャを認識できたことが確認できた。またユーザが定義したジェスチャとパターンマッチングを行うことにより、ジェスチャを事前に設定していた環境よりジェスチャの認識精度がわずかだが上昇したことも確認できた。我々はユーザがジェスチャを自由に定義できることで作業中のユーザ体験を向上することができた。

また現在のパターン認識アルゴリズムは、入力されたジェスチャの座標列を等間隔に再配置して、再配置後の角度を用いてパターンマッチングを行い類似度を算出していた。このアルゴリズムではジェスチャの認識率が約 6 割程度と低くユーザは安心してジェスチャコマンドをつかえないといった現状であった。そこで我々はパターン認識のアルゴ

リズムの改善を試み、新たなる特徴点の算出方法、特徴点同士の距離、特徴点間の8方向ベクトル分解の指標をアルゴリズムに導入した。新たなるアルゴリズムによって認識率を約8割まで上げることに成功した。そして、一般的な「ジェスチャ」に最適化すると約100%の精度でユーザはジェスチャコマンドを用いることができることを実験で確認した。ジェスチャの認識率を上げることによって、ユーザは編集操作の失敗を気にすることなく期待通りにラベルカードの編集作業を行うことができるようになった。

我々はこれまでジェスチャコマンドに基づく編集操作インターフェイスの改良をしてきたが、ジェスチャコマンドの編集結果はGKJシステムが動作しているPCの画面を見なければ確認をとることができないといった課題があった。そこで我々は編集操作のフィードバックの方法として仮想空間でのラベルカードの情報をARの提示で実世界の作業台に重畳する手法を提案した。ARの導入によってユーザは編集操作の確認が容易になりラベルカードの装飾効果を簡単に他のユーザに見せられるようになった。ユーザ評価実験では、従来のPCの画面で確認する方法よりARで作業台に重畳させる方が編集の確認動作の低減、操作結果の確認容易性、ラベルカードの文字の見やすさについて有意な差があると確認でき、ARを用いた提示方法の有用性について実証できた。

我々が本研究に着手する以前のシステムでは実世界の筆記とラベルカードの図解化の作業を伝統的なKJ法の作法で効率的に電子化していたが、今回我々の提案と実装によってこれまで通りの自然な作法のままで「付加価値のついた情報」を作業中に扱うことができ、作業中のユーザ体験の向上を実現することができたと考えている。電子化された発想支援手法の効果については有益な評価[35, 6]が確認されているので、我々は今後も発想支援活動の支援を続けていきたい。

謝辞

修士論文を完成するにあたり，ご指導ご教授くださりました三浦准教授に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 川喜田二郎. 続・発想法—KJ法の展開と応用—. 中公新書, 1970.
- [2] 三村修. KJ法における作法の研究. JAIST 平成 16 年度修士論文, May 2005.
- [3] 小山雅庸, 河合和久, 大岩元. 発想支援ツールとしてのエディタ. 電気関係学会東海支部連合大会, May 1986.
- [4] 宗森純, 吉野孝, 湯ノ口万友. 発想支援グループウェア gungen-spiral の開発と適用. 人文科学とコンピュータ研究会, July 2007.
- [5] Kazuo Misue, Kiyoshi Nitta, Kozo Sugiyama, Takeshi Koshiba, and Robert Inder. Enhancing d-abductor towards a diagrammatic user interface platform. In *In Proceedings of KES*, pp. 359–368, 1998.
- [6] 由井蘭隆也, 宗森純, 重信智宏. 大画面共同作業インターフェースを持つ発想支援グループウェア KUSANAGI が数百データのグループ化作業に及ぼす効果. 情報処理学会論文誌 vol 49, July 2008.
- [7] Hiroshi Ishii, Brygg Ullmer. Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of CHI'97*, 1997.
- [8] Scott R. Klemmer, Mark W. Newman, Ryan Farrell, Mark Bilezikjian, and James A. Landay. The Designers' Outpost: A Tangible Interface for Collaborative Web Site Design. In *Proceedings of UIST'01*, pp. 1–10, 2001.
- [9] Edward Tse and Saul Greenberg and Chia Shen and Clifton Forlines and and Ryo Kodama. Exploring True Multi-User Multimodal Interaction over a Digital Table. In *Proceeding of DIS2008*, pp. 109–118, October 2008.

- [10] 爰川知宏, 郷葉月, 前田裕二, 伊藤淳子, 宗森純. G-Pad : 複数のタブレット端末を利用したユビキタス発想支援システム. 情報処理学会研究報告 グループウェアとネットワーク, 第 20 卷, March 2012.
- [11] 佐保田遼, 中川正樹. 文字認識エンジンを用いた手書きワープロの開発と評価. ヒューマンインターフェイスシンポジウム 2012, September 2012.
- [12] Motoki Miura, Taro Sugihara, and Susumu Kunifuji. Augmented collaborative card-based creative activity with digital pens. In *The HCI International 2009 Conference Proceedings*, pp. 644–651, March 2009.
- [13] Raimund Dachsel, Mathias Frisch, and Eike Decker. Enhancing UML sketch tools with digital pens and paper. In *Proceedings of the 4th ACM symposium on Software visualization*, pp. 203–204, September 2008.
- [14] Caroline Appert and Shumin Zhai. Using strokes as command shortcuts: cognitive benefits and toolkit support. In *CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2289–2298, April 2009.
- [15] 加藤直樹, 大美賀かおり, 中川正樹. 携帯型ペン入力情報機器におけるペンジェスチャ入力指示インタフェース. 情報処理学会論文誌, 第 41 卷, April.
- [16] 丹生隆寛, 三浦元喜. デジタルペンを用いたグループ KJ 法におけるラベル情報の付加方法に関する研究. インタラクシオン 2011, March 2011.
- [17] Wobbrock J.O., Myers B.A., and Kembel J.A. EdgeWrite: A stylus-based text entry method designed for high accuracy and stability of motion. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '03)*, pp. 61–70, November 2003.
- [18] Takahiro Nyu and Motoki Miura. Applying Gesture Command Input Method for Pen-based Group KJ System . In *In Proceedings of KES*, September 2011.
- [19] Takahiro Nyu and Motoki Miura. Collaborative KJ Diagram Decoration by User-Defined Handwritten Gestures. In *WMUTE DIGITEL 2012*, June 2012.

- [20] 金ジョンヒョン, 橋田朋子, 大谷智子, 苗村健. 筆記音のフィードバックが筆記作業に与える影響について. *インタラクション* 2012, March 2012.
- [21] Takahiro Nyu and Motoki Miura. Evaluation of Gesture-Command Input Method for Pen-based Group KJ System. In *In Proceedings of KES*, September 2012.
- [22] 糟谷勇児, 山名早人. デジタルペンによるオンライン数式サンプル採取システムと採取文字サンプルに対する認識実験. In *IEICE-105 / IEICE-PRMU-374*, pp. 7–12, October 2005.
- [23] 朱碧蘭, 中川正樹. オンライン手書き文字認識の最新動向. *電子情報通信学会誌*, Vol. 95, No. 4, pp. 335–340, 2012.
- [24] Kam-Fai Chan and Dit-Yan Yeung. Recognizing on-line handwritten alphanumeric characters through flexible structural matching. In *Pattern Recognition*, Vol. 32, pp. 1099–1114, July 1999.
- [25] 浅井弘隆, 中澤吉男, 原田和郎, 石原好之, 戸高敏之. 方向ベクトルを用いたオンライン手書き文字認識. *電子情報通信学会技術研究報告 パターン認識・理解*, No. 95, pp. 1–6, February 1996.
- [26] 丹生隆寛, 三浦元喜. AR 技術を導入した手書きカードベースの発想支援システム. *インタラクション* 2013, March 2013.
- [27] Motoki Miura and Susumu Kunifuji. A Tabletop Interface Using Controllable Transparency Glass for Collaborative Card-based Creative Activity. In *Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES2008)*, pp. 855–862, September 2008.
- [28] Andrew D. Wilson. PlayAnywhere: a compact interactive tabletop projection-vision system. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 83–92, October 2005.
- [29] Hyunyoung Song and Tovi Grossman and George Fitzmaurice and Francois Guimbretiere and Azam Khan and Ramtin Attar and Gordon Kurtenbach . PenLight: Combining a

- Mobile Projector and a Digital Pen for Dynamic Visual Overlay. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 143–152, April 2009.
- [30] Hyunyoung Song and Francois Guimbretiere and Tovi Grossman and George Fitzmaurice. MouseLight: bimanual interactions on digital paper using a pen and a spatially-aware mobile projector. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2451–2460, April 2010.
- [31] Xiang Cao and Ravin Balakrishnan. Interacting with dynamically defined information spaces using a handheld projector and a pen. In *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 225–234, October 2006.
- [32] Bjorn Hartmann and Meredith Ringel Morris and Hrvoje Benko and Andrew D. Wilson. Pictionaire: Supporting Collaborative Design Work by Integrating Physical and Digital Artifacts. In *Proceedings of the 2010 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pp. 421–424, February 2010.
- [33] Quentin Bonnard and Patrick Jermann and Amanda Legge and Fred ´eric Kaplan and Pierre Dillenbourg. Tangible Paper Interfaces: Interpreting Pupils ’ Manipulations. In *Proceedings of the 2012 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces*, pp. 133–142, November 2012.
- [34] 森敏昭, 吉田寿夫. 心理学のためのデータ解析テクニカルブック. 北大路書房, 1999.
- [35] Viriyayudhakorn Kobkrit and Kunifuji Susumu. The Impact of the Background Knowledge and the Friendship Closeness on the Team Creativity in a Realtime Creativity Support Groupware. In *Knowledge, Information and Creativity Support Systems(KICCS2012)*, pp. 89–96, October 2012.