

バーチャルな影による奥行き錯覚を用いた 付箋紙の移動操作と類似度可視化インタフェース

中原 和洋^{†1} 藤田 和之^{†2} 土田 太一^{†2} 高嶋 和毅^{†2} 北村 喜文^{†2}

概要：物理的な付箋紙環境における付箋移動と類似付箋探索の支援を目的としたインタフェースを提案する。付箋紙へのバーチャルな影のプロジェクトンマッピングにより、(A)付箋を張り替えずに奥行き方向へ擬似的に移動する、(B)文書解析に基づき付箋間の類似度を可視化する、2つの機能を実現するインタフェースのプロトタイプを開発した。ユーザテストを通じて、(A)は奥行きレベルの知覚が難しく改善が必要、(B)は類似付箋を目立たせる目的として良好な感触が得られた。

1. はじめに

付箋紙に情報・知識・アイデアを言語化し、分類・整理するプロセスは、創造的な活動で広く用いられている。付箋紙の分類・整理プロセスには試行錯誤を要するため、(a)付箋紙の移動（張替え）、(b)類似付箋の探索、が頻繁に発生する。(a)(b)の作業を支援することで、分類・整理プロセスの効率化や質の向上が期待できる。

(a)付箋紙の移動（張替え）を支援する手段として、タブレットや大型タッチスクリーンを用いた付箋環境のデジタル化がある。Jensenら [1] は、物理的な付箋紙環境に比べてデジタル付箋紙環境の方が付箋紙の移動量が増加したと報告している。しかし、付箋紙環境のデジタル化の普及は進んでいない。Harboeら [2] は、紙のリッチなインタラクションと素材のアフォーダンスが付箋の分類プロセスに重要であると報告しており、付箋紙のデジタル環境が普及しない原因の一つとして考えられる。一方でOgataら [3] は、電磁石ヘッドを裏側に備えたホワイトボードと磁性レイヤが塗布された付箋紙を用いて、付箋紙をホワイトボード上で移動させるシステムを構築しているが、既存の付箋紙や壁面をそのまま用いることはできない。

また、(b)類似付箋の探索を支援する手段として、文書解析に基づく文書類似度の算出 [4][5] や可視化技術 [6] がある。しかし、これらの技術は、物理的な付箋紙の分類・整理プロセスでの利用に向けたものではなく、データ分析作業を前提としており、2次元ディスプレイを用いたグラフィカルユーザインタフェースによるものがほとんどである。したがって、付箋紙の分類・整理プロセスにおけるこれら技術の利活用は十分に研究されていないと言える。

そこで本研究では、物理的な付箋紙環境を前提として、(a)付箋の移動と(b)類似付箋の探索支援を実現する新しいインタフェースを提案する。具体的には、図1に示すように物理的な付箋紙に対し、バーチャルな影を動的にプロジェクトンマッピングすることで、奥行き方向への付箋紙の擬似的な移動操作を可能とする。さらに、付箋紙の文字認識と文書解析に基づき算出した付箋紙間の文書類似度を、

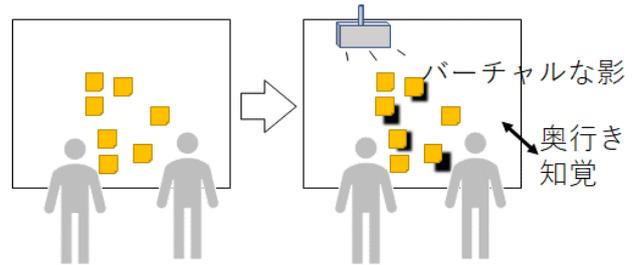


図1 提案システムイメージ

影の表示とその振動アニメーションにより擬似的な奥行きを強調することで可視化する。本稿では、本手法を実現したプロトタイプの実装と、これを使用した簡易なユーザテストの結果について述べる。

2. 関連研究

2.1 紙への影のプロジェクトンマッピングによる奥行き知覚

Kawabe [7][8] は、物理的な紙に印刷された画像中のオブジェクトや書かれた文字に対して、プロジェクトンマッピングによりバーチャルな影を投影することで、奥行き方向の錯覚を与えられることを示した。

本研究では、この手法を付箋紙に適用し、さらに指によるタッチインタラクションを組み合わせることで、奥行き方向に対する付箋紙の擬似的な移動操作を試みる。さらに2.2で記述する文書解析に基づく付箋類似度可視化の軸として、影による擬似的な奥行き方向への可視化を試みる。

2.2 文書解析と類似度の可視化

自然言語処理研究において、文書（文）を数百～数千次元のベクトルに変換する技術（埋め込み、分散表現）が発展し、ベクトルの近さ（コサイン類似度等）の計算により、文書間の類似度を算出できるようになった。近年、Webの膨大なテキストデータと深層学習を用いた手法により、文書類似度の算出精度は飛躍的に向上した。現在、日本語を含む16か国語に対応し、オープンソースで利用可能な代表的なものとして、Universal Sentence Encoder [4][5] がある。

また文書の埋め込みベクトルを2次元インタフェース上で可視化する代表的な手法として、主成分分析やt-SNE [9] などの次元圧縮をベクトルに適用して可視化する方法があ

^{†1} 日本ユニシス(株)

^{†2} 東北大学 電気通信研究所

る。これらを実装した代表的な可視化ツールとして、embedding projector [6] がある。

これら文書解析、類似度可視化のツール群は、データ分析作業を目的としたものであるため、付箋紙環境における分類・整理作業で利用しようとする、作業と利用プロセスが大きく分離してしまうため、利用が難しい。本研究では、文書解析、類似度可視化を、物理的な付箋紙にバーチャルな影による奥行き次元に可視化することで、作業と利用プロセスの自然な融合を試みる。

3. 提案手法とプロトタイプ実装

3.1 概要

本提案手法では、下記(A)(B)の2つの機能を実現する。

(A) 奥行きへの擬似的な付箋移動：

付箋紙を張り替えずに、奥行き方向へ付箋を擬似的に移動できる。

(B) 奥行き強調による付箋類似度可視化：

付箋紙に書かれた文書間の類似度に応じて、付箋紙の奥行きを擬似的に変化させることで、類似度の大小を可視化できる。

機能の詳細は次の通りである。

(A) 奥行きへの擬似的な付箋移動は、任意の付箋紙を指でタッチすることで、付箋紙の奥行き位置を1段階ずつ最大4段階、手前方向に浮き出した状態にできるようにする。

(B) 奥行きへの付箋類似度可視化については、任意の付箋紙を指でタッチすることで、タッチした付箋紙とその他の各付箋紙との間の類似度を、付箋紙毎にバーチャルな影による擬似的な奥行き方向に可視化する。類似度の高い付箋ほど手前に浮き出した状態、類似度の低い付箋ほど浮き出ない（一定閾値以下の類似度の付箋は、元の付箋のままで影を投影しない）状態とする。また、擬似的な奥行き方向へ配置後に減衰振動のアニメーションを付け、類似付箋をより強調させる。

3.2 プロトタイプ実装

3.2.1 ハードウェア構成

(A)と(B)の機能を実現するプロトタイプのハードウェア構成を説明する。図2のように、指タッチ入力センサー付きプロジェクタ(EPSON EB-1430WT)、USBカメラ(ELP-USB8MP02G-SFV)、PC(TOSHIBA dynabook R63/D)で構成した。指タッチ入力センサーは、どの付箋をタッチしたかの検出に利用する。プロジェクタは影のプロジェクションに用いる。USBカメラは、壁面に貼られる付箋全体の映像を一定間隔で取得する。PCは、後述のソフトウェア実装の配置と実行を行う。

3.2.2 ソフトウェア実装

(A)と(B)の機能を実現するプロトタイプのソフトウェア実装について、下記(1)~(6)の流れで説明する。

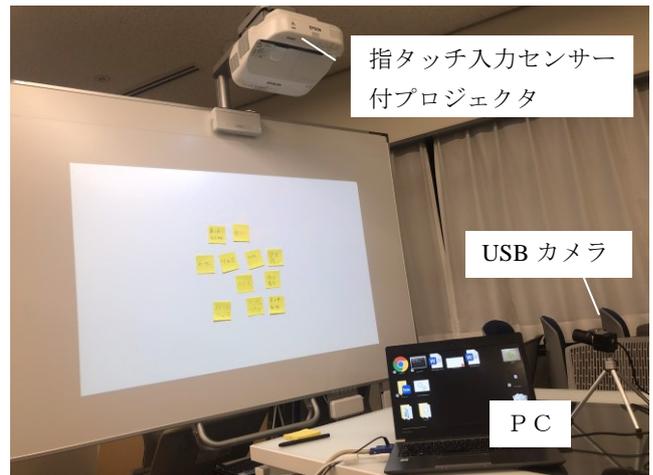


図2 提案システム構成

(1)カメラ座標、プロジェクタ座標のマッピング

参考文献 [8] と同様に、グレーコードパターンを利用した Structured-light 方式により、プロジェクタとカメラ座標の変換マップを作成した。変換マップの計算においては、壁（プロジェクタ投影面）に付箋紙の全体が完全に接着する前提とし、付箋紙の浮きへの対応は、今回の実装では対象外とした。本プロトタイプおよび後述のユーザースタディでは、全面が接着面タイプの付箋紙を利用した。実装には Python, OpenCV を用いた。

(2)付箋領域の抽出

一般的な利用環境である、白無地の壁面に対し、色のついた付箋を貼り付ける前提とした。付箋領域である画像の R, G, B 成分をそれぞれ強調した後に、設定パラメータの閾値で2値化した画像に対して、輪郭抽出と単純形状への近似を行うことで、付箋領域を抽出した。

(3)付箋の文字認識

文字認識には、Google Cloud Vision API の DOCUMENT_TEXT_DETECTION [a] を用いた。上記 API に USB カメラで撮影した付箋群画像を入力として与え、認識テキストデータおよびその位置座標情報を取得する。(2)で抽出した各付箋領域座標内に含まれる認識テキストデータ群を結合することで、各付箋紙に書かれている内容をテキストデータとして得た。

(4)文書類似度の算出

Universal Sentence Encoder の Multilingual large モデル version 3 [b] を利用して、(3)で認識した各付箋紙に書かれている文書間の類似度を算出した。文書間類似度はコサイン類似度として算出され、1.0 (類似度高) ~ -1.0 (類似度低) の範囲となる。

(5)付箋の影画像生成

文献 [8] を参考に影画像を生成した。(2)の付箋領域のみを黒に塗りつぶした画像に対し、水平方向、垂直方向へ移

a) <https://cloud.google.com/vision/docs/fulltext-annotations>

b) <https://tfhub.dev/google/universal-sentence-encoder-multilingual-large/3>



図 3 機能(A) : 奥行きへの擬似的な付箋移動操作
インタフェース例

動し、ガウシアンフィルタをかけてぼかした。水平、垂直方向への移動量は、機能(A)は設定パラメータの最大移動量を4段階の奥行きに応じて案分した値、機能(B)は最大移動量に類似度を乗じた値（ただし類似度閾値 0.2 以下の場合 0 を乗じ、影を生成しない）とした。移動後の影と、移動前の元の付箋領域の重なり部分を除去し、付箋の影画像を生成した。本プロトタイプでは、光源や視線位置の考慮は行わず、すべての付箋において、元の付箋位置から同じ量の水平、平行移動させた位置に影を生成した。

(6)付箋への影投影

(5)で生成した影画像を、(1)で生成した変換マップで座標変換を行い、プロジェクタで投影した。

3.3 プロトタイプのインタフェース例

図 3 に機能(A) 奥行きへの擬似的な付箋移動操作のインタフェース提示例を示す。図 3 は、(A)のモードにおいて付箋に書かれた数字の回数分、付箋をタッチした後の、パーティクルな影のプロジェクション結果を示している。付箋のタッチ回数が増えるほど、影と付箋紙の距離が大きくなっていく（付箋が手前方向に浮きあがってくる）。

次に機能(B) 奥行き強調による付箋類似度可視化のインタフェース例を図 4 に示す。図 4 左のように、「鼻の長い生き物」タッチすると、類似度の高い「首が長い動物」付箋の影が大きく提示される。類似度の少し高い「カラス」付箋にも影が小さく提示される。また図 4 右のように、「りんご」付箋をタッチすると、「アップルパイ」、「みかん」の影が大きく提示され、類似度の少し高い「オレンジジュース」付箋にも影が小さく提示される。この時の実際の類似度の値を付録 A1 に示す。また、このインタフェース例では、3.2.2(3)で述べた文字認識の精度は 100%であった。

また、減衰振動アニメーションを有効にした場合は、図 4 の状態を振動の中心として、類似度が高いほど振幅が大きく、類似度が低いほど振幅が小さく、影が振動しながら減衰し最後に停止し図 4 の状態に戻るアニメーションを提示した。

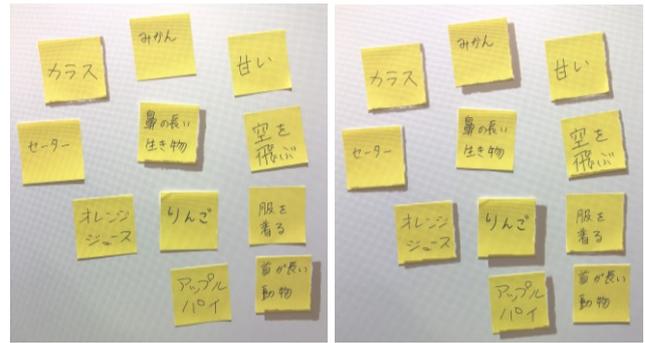


図 4 機能(B) : 奥行き強調による付箋類似度可視化
インタフェース例

(左) : 「鼻の長い生き物」付箋をタッチした時の状態

(右) : 「りんご」付箋をタッチした時の状態

4. ユーザテストと考察

本章では、3 章で開発したプロトタイプを用いて実施したユーザテストの内容を記述する。

4.1 ユーザテスト

筆者が所属する会社社員 7 名に対し、プロトタイプの 2 機能の実演・体験デモを行い、意見を収集した。(A)(B)の機能について、使えそう／使えなさそうの 2 件法でヒアリングした結果、(A)は使えそう 0 名、使えなさそう 7 名、(B)は、使えそう 7 名、使えなさそう 0 名であった。また、主な自由意見は、以下の通りであった。

機能(A)の主な意見

- 奥行き段階の違いが分かりにくい。使いこなすのが難しいだろう。影が色分けされた方が分かりやすい。
- 奥行きでグルーピングするというのに慣れていないため、難しい。慣れば使えるかもしれない。
- 色分けできた方がいいのではないか。

機能(B)の主な意見

- 面白い。新しい。
- 振動があった方が、無い場合よりも分かりやすい。
- 振動はいらなくてもいいかもしれない。振動しなくても分かるので。
- 一度付箋を分類した後に、気づきが得られそうで良い。
- あまり似ていない付箋は小さい影が付かない方が良いのではないか。

4.2 考察

プロトタイプ実装とユーザテストの結果を考察する。

機能(A)については、全員が使えなさそうと回答した。その理由が、影（奥行き）のレベル差の知覚が難しく、分類に利用するのは難しいとのことであった。このことから、今回のプロトタイプ実装では、機能(A)の実現は難しいことが分かった。機能(A)の改良アイデアの 1 つとして、光源や視線による影の変化を考慮することで、奥行きレベル差の

知覚を改善できる可能性がある。しかし、複数人の視線の考慮を同時にプロジェクションできない問題が残る。今後、影による擬似的な奥行きレベル差の知覚に関する詳細な調査、奥行き知覚を補助する手法等、研究課題としたい。

機能(B)については、類似付箋を見つけやすくする手段として有用性、利用性、実現性が高い感触を得た。ただし、機能(A)の結果から、細かいレベルの類似度の違いを可視化しても、ユーザは知覚できていない可能性がある。類似度の高い付箋を目立たせるだけであれば、付箋に色やマークをプロジェクションする単純な方法がある。これらの方法に比べ、影による可視化の特性や有用性については、今後詳細な評価実験で明らかにしたいが、推測できる仮説の1つを述べる。ユーザが能動的に分類したいときは、付箋紙の色を変えるなどの明示的な可視化が有効であり、それとなくシステム側が分類を示唆したいときは、本提案システムのように影をつけるといった非明示的、アンビエントな可視化が有効である可能性がある。今後の検証課題としたい。

5. おわりに

本稿では、物理的な付箋紙環境における付箋移動と類似付箋探索の支援を目的としたインタフェースを提案した。付箋紙へのバーチャルな影のプロジェクションマッピングにより、(A)付箋を張り替えずに奥行き方向へ擬似的に移動する、(B)文書解析に基づく文書間類似度を可視化する、2つの機能を実現した。ユーザテストを通じて、(A)は奥行きレベルの知覚が難しく改善が必要、(B)は類似付箋を目立たせる目的として良好な感触が得られた。今後、ユーザテストで得られた知見を踏まえ、プロトタイプ改良と提案手法の有効性や特性についての詳細な評価を行う予定である。

参考文献

- [1] M. M. Jensen, S. K. Thiel, E. Hoggan, and S. Bødker, “Physical Versus Digital Sticky Notes in Collaborative Ideation,” *Comput. Support. Coop. Work CSCW An Int. J.*, vol. 27, no. 3–6, pp. 609–645, 2018.
- [2] G. Harboe and E. M. Huang, “Real-world affinity diagramming practices: Bridging the paper-digital gap,” *Proc. CHI '15*, pp. 95–104, 2015.
- [3] M. Ogata and M. Fukumoto, “FluxPaper: Reinventing paper with dynamic actuation powered by magnetic flux,” *Proc. CHI '15*, pp.29-38, 2015.
- [4] Y. Yang *et al.*, “Multilingual Universal Sentence Encoder for Semantic Retrieval,” *arXiv preprint arXiv:1907.04307*, 2019.
- [5] M. Chidambaram *et al.*, “Learning Cross-Lingual Sentence Representations via a Multi-task Dual-Encoder Model,” *Proc. RepLANLP-2019*, pp. 250–259, 2019.
- [6] D. Smilkov, N. Thorat, C. Nicholson, E. Reif, F. B. Viégas, and M. Wattenberg, “Embedding Projector: Interactive Visualization and Interpretation of Embeddings,” *arXiv preprint arXiv:1611.05469*, 2016.
- [7] T. Kawabe, “Ukuzo—A Projection Mapping Technique to Give

- Illusory Depth Impressions to Two-dimensional Real Objects,” *NTT Technical Review*, vol. 16, no. 11, pp. 30–34, 2018.
- [8] T. Kawabe, “Shadow-based illusion of depth and transparency in printed images,” *ACM Trans. Appl. Percept.*, pp. 10:1–10:12, 2019.
 - [9] L. Van Der Maaten and G. Hinton, “Visualizing data using t-SNE,” *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 9, pp. 2579–2605, 2008.

付録

付録 A.1 インタフェース例における付箋テキスト間の類似度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 首が長い動物	1.00										
2 アップルパイ	0.04	1.00									
3 服を着る	0.09	0.10	1.00								
4 オレンジジュース	-0.01	0.34	0.14	1.00							
5 りんご	0.22	0.40	0.26	0.31	1.00						
6 空を飛ぶ	0.12	0.15	0.28	0.22	0.32	1.00					
7 セーター	0.19	0.18	0.64	0.22	0.31	0.17	1.00				
8 鼻の長い生き物	0.68	0.07	0.08	0.04	0.28	0.20	0.08	1.00			
9 カラス	0.28	0.23	0.23	0.24	0.49	0.39	0.33	0.29	1.00		
10 甘い	0.09	0.32	0.23	0.29	0.57	0.26	0.26	0.10	0.40	1.00	
11 みかん	0.13	0.58	0.27	0.54	0.54	0.28	0.30	0.20	0.42	0.53	1.00