

# 複数ユーザの視線情報モデルに基づく キーワードマップの自動評価手法

笛田 剛<sup>1,a)</sup> 藤井 敦<sup>2</sup>

概要：キーワード群を可視化するキーワードマップの評価において、当該マップを見る視線情報を用いる自動評価手法がある。しかし、既存の手法における視線情報を注視点としてモデル化する方法が妥当であるかは不明である。本研究では、視線情報から注視点を抽出する際のパラメータを大きくし、抽出される注視点を抽象化することによってマップ評価の精度を向上させた。

## An Automatic Evaluation Method for Keyword Maps by Modeling Eye Gaze Information of Multiple Users

GO FUEDA<sup>1,a)</sup> ATSUSHI FUJII<sup>2</sup>

### 1. はじめに

今日の情報化社会では大量の情報が日々生産され、その情報を扱うことで社会や経済が発展している。このため情報の処理をに関わる技術の重要度は高い。大量の情報から有効な情報を抽出する技術をデータマイニングと呼ぶ。その中でも特に、テキスト情報を対象とする技術をテキストマイニングと呼ぶ。テキストマイニングでは文書データを単語の集合として処理するのが一般的であり、解析結果も単語の単位で表現される。

テキストマイニングの解析結果の単語集合を効率的に理解するための手法の一つに可視化がある。可視化によって情報の特徴を効率的に理解することができたり、意外な発見がされることがある。情報の可視化手法は様々な分野で研究されている。それらの可視化手法の品質に関する研究は岸谷 [5]、東小園 [7]、松尾 [10] などがある。しかし、情報の可視化手法を定量的に評価しているのは岸谷 [5] と東小園 [7] のキーワードマップの自動評価に関する研究だけである。本研究の先行研究である岸谷 [5] と東小園 [7] では、テキストマイニングの結果として出力されるキーワー

ドマップを対象として、可視化の品質を自動的に評価する手法を提案し、その有効性を示した。

本研究におけるキーワードマップとは、「複数の単語が二次元平面上に配置された図」のことである。キーワードマップは「配置」「色」「リンク」などの属性で語の関連を表すことができる。東小園 [7] はこれらの属性のうち、「配置」の属性のみを持つキーワードマップについて評価を行った。また、関連度の高いキーワードを近くに配置させて生成した質の高いキーワードマップを「グループ配置」のキーワードマップ、関連度の高いキーワードを近くに配置することなく生成した質の低いキーワードマップを「ランダム配置」のキーワードマップと呼んでいる。東小園 [7] は、「グループ配置」のキーワードマップと「ランダム配置」のキーワードマップそれぞれに対するユーザの視線を比較することで、どちらのキーワードマップが「グループ配置」であるかを評価する手法について研究を行った。

本研究では東小園 [7] を先行研究とし、視線情報をから抽出される注視点を抽象化することで注視点データを人間の視線によって描かれる形状に近づけようとし、これにより評価手法の精度の向上を図った。

<sup>1</sup> 東京工業大学 情報工学科

<sup>2</sup> 東京工業大学 情報理工学院情報工学系

<sup>a)</sup> fueda.g.aa@m.titech.ac.jp

## 2. 関連研究

### 2.1 視線情報を用いた研究

視線情報を用いた研究は、以下のように分類することができる。

- (1) 視線をインターフェースとした計算機へのインプットに関する研究 (HCI)
- (2) 人間を観察したり評価したりする研究
- (3) 人間が見る対象を評価する研究

本研究は、人間が見る対象 (キーワードマップ) の評価に関する研究なので、3. に該当する。

#### 2.1.1 HCI

HCI (Human-computer interaction) の分野には音声入力などがあるが、視線情報を用いたものも存在する。視線情報を用いたキーボード入力に関する研究 [15] や、視線情報をマウス入力の代わりにする研究 [18] などがある。

#### 2.1.2 人間を観察したり評価したりする研究

人間の認知過程を分析して人間を観察したり評価したりする分野には、棋士の熟練度による視線の動きの違いについて扱った研究 [13] や、人間の情報受容の状態を推定する研究 [6] などがある。

#### 2.1.3 人間が見る対象を評価する研究

人間の認知過程を分析して人間が見る対象を評価する研究には、文書の文字間隔の読みやすさの評価に関する研究 [17] や、グラフ構造の評価を行う研究 [12] がある。また画像の形状特徴や色特徴を基に、ある画像に類似する画像を分類して検索する手法 CBIR (Content-based image retrieval) に関する研究 [19][14] がある。これらの研究では、画像検索の結果として表示される複数の画像の中から、目的の画像を一つ以上選択するタスクを課している。Zhang ら [19] は決定木モデル、Klami ら [14] は混合ガウスモデルなどを視線の動きを判定するモデルとして用意し、それらに視線情報を入力することで目的の画像を判別している。

### 2.2 キーワードマップ

キーワードマップを対象とした研究としては岸谷 [5]、東小園 [7]、梶並ら [4] の研究などが挙げられる。梶並ら [4] は、新たな知識の発見を促す機能をキーワードマップに与える手法を提案している。しかしこの手法によって作られたキーワードマップを評価する際の評価手法の妥当性については述べられていない。

岸谷 [5] と東小園 [7] は視線情報を用いてキーワードマップの評価を行う手法についての研究である。有効に用いられているかどうか不明であるキーワードマップに関して、定量的な評価を行うことを目的とした研究である。

## 3. 評価手法

本研究における評価手法とは、岸谷 [5] と東小園 [7] におけるキーワードマップの性能を評価する手法である。

### 3.1 評価の方針

先行研究の岸谷 [5] における予備調査では、同一のマップを複数のユーザに提示したときの視線情報を計測する実験を行い、キーワードの配置方法がユーザの視線に与える影響を調査した。その結果、ランダム配置のキーワードマップでは、異なるユーザの視線が互いに類似する傾向が観察された。また、グループ配置のマップを見る場合と比べて、各キーワードを丁寧にたどる傾向があった。これらの観察から、岸谷 [5] は「ランダム配置のマップに対する視線はマップの上を網羅的になぞるため、常に同じような視線になる」という仮説を立てた。

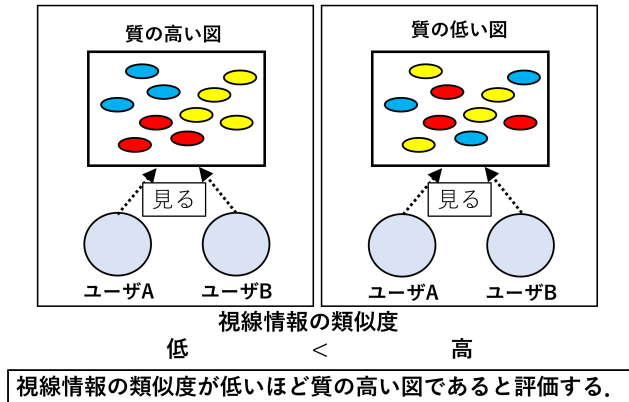
岸谷 [5]、東小園 [7] による先行研究ではこの仮説に基づいてキーワード配置の精度を自動的に評価する手法を提案し、実験によりその手法の有効性を示した。実験では、視線計測装置を内蔵したディスプレイにキーワードマップを表示し、当該キーワードマップを注視する際の実験協力者の視線情報を収録した。得られた視線情報間の類似度が高いほどキーワードマップの質が低く、逆に視線情報間の類似度が低いほどキーワードマップの質が高いとして当該キーワードマップの品質を評価した。この仮説を簡潔に表すと「質の高いキーワード鳥瞰図では特徴量のヒストグラムに個人差がある」[5] と言える。

岸谷 [5] で提案されたキーワードマップの評価手法は図 1 で表される手法である。あるキーワードマップに対する二人以上の  $n$  人のユーザの視線を組み合わせて、 $nC_2$  通りの組み合わせで類似度を計算する。計算した類似度の平均値を比較し、ユーザごとに見方が異なる (視線情報の類似度が低い) 図を質の高い図と評価し、どのユーザも同じような見方をする (視線情報の類似度の高い) 図を質の低い図とする相対評価を行う。

### 3.2 評価の手順

- (1) キーワードマップを見る実験協力者の視線情報を収集する
- (2) 視線情報の素性を計算し、ヒストグラム化する
- (3) あるキーワードマップに対する視線情報のヒストグラム同士を全ての組み合わせで比較し、類似度の平均値を計算する
- (4) 二つのキーワードマップそれぞれで求めた類似度の平均値を比較し、その値が低い方を質の高い図と判定する

図 1 評価手法の概要



### 3.3 視線情報の利用方法

人間が視覚を用いている時の視線を計測することで、その人がどこを見ていたのかという視線情報を記録することができる。東小園 [7] の研究では、視線測定法のうち角膜反射法を用いて視線情報を記録した。具体的には、ディスプレイ型体の視線計測装置 Tobii T60 Eye Tracker (以下、T60) を使用した。角膜反射法を用いた視線計測装置には頭部装着型と非接触型の二種類があり、T60 は非接触型である。

頭部装着型の視線計測装置は頭部位置に制約を受けず自由に移動できるため、歩行中などの視線計測が可能である。その反面常に頭部に装置を装着する必要があるため、ユーザへの負担は大きい。一方、非接触型の視線計測装置では、ユーザに装置を装着する必要がないため視線測定中の負担が小さい。T60 の特徴は以下の通りである。

#### ディスプレイサイズ

17 インチ

#### 解像度

1280px × 1024px

#### サンプリングレート

60Hz

#### 測定誤差

0.5°

### 3.4 眼球運動

人が静止した物体を見る視線の動きは、注視とサッケードに大別することができる。[2]

(1) 注視：一点に注目して見ること

(2) サッケード：視線がある部分から別の部分に素早く移動すること

人間は静止しているものを見る際には、注視と注視の間にサッケードを挟むようにして視線は移動する。サッケード中は人間の視覚の認識力は低下するため、人間の認知活動を観察するには注視を追えばよい。

### 3.5 注視点

解析では、眼球運動のうち注視に着目する。しかし、東小園 [7] が使用した視線計測装置の T60 は 60Hz のサンプリングレートで視線情報を記録し、記録された視線情報自体に注視とサッケードの区別はない。そこで東小園 [7] は安原 [11] にならい、Salvucci[16] が挙げている注視とサッケードの分離方法のうち、I-DT 法 (Dispersion-Threshold Identification) というアルゴリズムを用いて視線情報から注視を抽出している。注視によって視線が指す点を注視点と呼ぶと、I-DT 法では具体的には以下の手順で注視点を抽出している。

#### (1) 注視点候補の抽出

注視点候補として、計測した視線データ (1/60 秒ごとのディスプレイ上のピクセル座標) を初めから 1 つずつ注視点候補の視線データ集合として加えていく。以下の条件が全て満たされる限り、視線データを集合に加え続ける。

- 注視点候補を構成する全ての視線データが、注視点候補の視線データ集合の重心座標から、距離閾値  $D$  以内の位置に存在する。
- 注視点候補を構成する全ての視線データについて、計測状態がエラーのデータを含まない。

視線データを注視点候補に加えた時に、以上の条件が満たされなくなった視線データの直前までの視線データ集合を 1 つの注視点候補とする。そして、注視点候補の終了時刻を新たな注視点候補の開始時刻とし、次の注視点候補を同様に決定していく。これを、計測した視線データの最後まで行う。

#### (2) 計測エラー区間の補完

計測した視線データに含まれている計測状態がエラーの区間 (以下、計測エラー区間と呼ぶ) を補完する。注視点候補が構成されるのに必要な時間閾値  $T$  未満の計測エラー区間は、前後の注視点候補の重心座標間の距離が距離閾値  $D$  以内であれば、前後の注視点候補をつなげて 1 つの注視点候補とする。これは、時間閾値  $T$  未満のエラー区間の最中に前後の注視点候補と異なる位置に注視点が発生することは時間の制約上起こらないため行い、散発する短い計測エラー区間によって注視点の細分化するのを防ぐ目的がある。

#### (3) 注視点の抽出

上記で決定した注視点候補の中から、時間閾値  $T$  以上の注視点候補のみを注視点として抽出する。抽出した注視点には構成される視線データ集合の重心の座標を与える。

東小園 [7] は安原 [11] にならい、注視点を「計測機器の許容誤差の範囲に収まる連続した点の集合」と考え、T60 のカタログ仕様の測定誤差 (0.5°)、画面から実験協力者までの平均的な距離 (50cm)、および画面解像度 (1280px ×

1024px) から距離閾値  $D$  は 17px とした. また時間閾値  $T$  は 100ms とした.

### 3.6 素性

視線情報は T60 によって 1/60 秒ごとにユーザの視線がディスプレイのピクセル座標として得られる. 開始時刻, 持続時間, ピクセル座標で表される注視点から素性を取り出し, 注視点の特徴を数値化して表す. 東小園 [7] の研究で用いられた素性は, 以下の三種類である.

- angle : 連続した三つの注視点がなす角度 ( $0^\circ \sim 180^\circ$ ) (図 2)
- distance : 連続した二つの注視点間の距離 [px] (2)
- area : キーワードマップを複数の領域に分割し, 注視点がどの領域に含まれるか (図 3)

図 2 素性 angle, 素性 distance (黒丸は注視点, 矢印は注視点の順番を表す.)

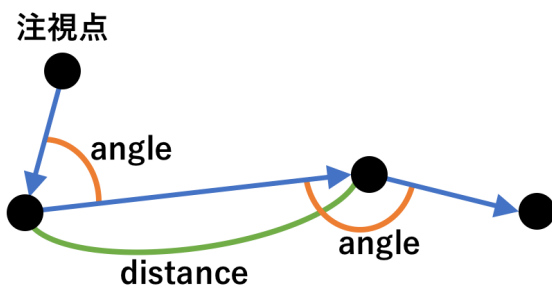


図 3 素性 area (黒丸は注視点. 数字は該当領域内にある注視点の数.)

0	● 1	0	0
● 2	● ● 3	● 1	0
1	● 1	● ● 2	● 1
0	0	● 1	● 1

東小園 [7] の実験で用いられたキーワードマップ中のキーワード枠の大きさは, 画面全体 (1280px × 1024px) に対し横幅は  $\frac{1}{8}$  倍, 縦幅は  $\frac{1}{32}$  倍の大きさ, つまり 160px × 32px である. 素性 area で用いる分割領域をキーワード枠の大きさの 4 倍のサイズとし, 設問図を図 4 のように 16 行 4 列の 64 個の領域に分割した.

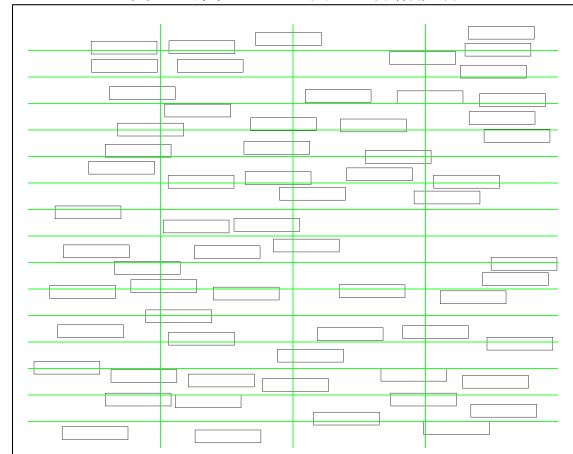
### 3.7 ヒストグラム

小節 3.6 で示す素性を視線情報から取り出した後, 比較して類似度を計算するためにヒストグラム化を行う. 素性ごとに以下のようにヒストグラムを作成する. 対象の素性が現れるたびにヒストグラムの当該階級の度数を 1 増やす.

#### 3.7.1 angle

$10^\circ$  刻みで 18 個の階級に分割する. (18 階級)

図 4 素性 area で用いる分割領域



#### 3.7.2 distance

0px から 40px 刻みで 20 個の階級に分割する. ただし 760px 以上の距離は一つの階級とする. (20 階級)

#### 3.7.3 angle

画面を 64 個の均等な領域に分割し, それぞれを一つの階級とする. (64 階級)

### 3.8 類似度

ヒストグラム化した各素性のコサイン類似度を計算する. ヒストグラムの比較は同じ素性同士でのみ行う. ベクトル  $\vec{x}, \vec{y}$  に対するコサイン類似度  $sim(\vec{x}, \vec{y})$  の計算式は以下の通りである.

$$sim(\vec{x}, \vec{y}) = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad (1)$$

## 4. 本研究における改良点

東小園 [7] の研究ではディスプレイ上で半径 17px の円に 100ms 以上とどまった視線を注視点と抽出した. 本研究では抽出される注視点を抽象化することで, 人間が視線により描こうとした形状を高精度でモデル化することを目的とした. 東小園 [7] の実験で得られたデータを用い, 注視点抽出の距離閾値というパラメータを大きくしていき正解率を計算した.

## 5. 評価結果

本研究では節 3 で述べたようにして, あるキーワードマップに対して 2 人の実験協力者が発した視線情報の類似度を計算する. 東小園 [7] の実験における実験協力者の人数は 11 人であるため, 1 個のキーワードマップ当たり最大で  ${}_{11}C_2 = 55$  個の類似度を得ることができる. 得られた最大 55 個の類似度の平均値を計算し, この値が小さいほど質の高いキーワードマップであると判断する.

実験では質の高い「グループ配置」の図, 質の低い「ランダム配置」の図として生成した 2 種類のキーワードマップを用いる. 「グループ配置」の図と「ランダム配置」の図

はそれぞれ 12 個用いたため、合計 24 個のキーワードマップについて類似度の平均値が計算される。

正解率の計算は視線情報が持つ素性ごとに行う。それぞれの素性については小節 3.6 で説明をしている。

### 5.1 正解率の計算方法

先行研究である東小園 [7] では、「グループ配置」の図の類似度の平均値と「ランダム配置」の図の類似度の平均値は全て比較しているため、 $12(\text{「グループ配置」の図の数}) \times 12(\text{「ランダム配置」の図の数}) = 144$  通りの比較を行い正解率を計算している。

東小園 [7] の計算方法ではグループ数が異なるキーワードマップ同士も比較している。しかし、キーワードマップ中のキーワードのグループ数が増えると、全ての単語グループが何のグループであるかを認識することが人間にとってより難しくなるので、品質の低下につながると言える。

そのため、本研究では岸谷 [5] が用いた方法に基づき、グループ数とキーワードマップの品質が共に同じであるキーワードマップ同士のみを比較して正解率を計算する。よって  $3(\text{グループ数は } 2, 3, 4 \text{ の } 3 \text{ 通り}) \times 4(\text{「グループ配置」の図の数}) \times 4(\text{「ランダム配置」の図の数}) = 48$  通りの比較を行い正解率を計算する。

### 5.2 先行研究の手法での正解率

先行研究である東小園 [7] の手法 (距離閾値  $D = 17\text{px}$ ) を用い、11 人の実験協力者から得られた視線情報を用いて正解率を計算すると表 1 の通りである。

表 1 東小園 [7] の手法の素性ごとの正解率

angle	distance	area
0.646	0.688	0.604

### 5.3 パラメータを変更した時の正解率

本研究では、小節 3.5 で述べた注視点抽出方法のパラメータである距離閾値  $D$  を変化させることで評価手法の正解率が受ける影響について調べる。

東小園 [7] は視線計測装置 T60 のカタログ仕様の測定誤差 ( $0.5^\circ$ ) より距離閾値  $D$  を  $16\text{px}$  としているが、Salvucci[16] で挙げられている注視点抽出アルゴリズムの I-DT 法の説明では、I-DT 法を用いる際には人間の視角の  $0.5^\circ \sim 1.0^\circ$  に相当する距離を距離閾値  $D$  として用いることが出来るとしている。また、この視角の値は視線計測装置の測定誤差を考慮していないので、視線計測装置 T60 の測定誤差 ( $0.5^\circ$ ) を考慮し、視角の  $0.5^\circ \sim 2.0^\circ$  に相当する距離である  $17\text{px} \sim 67\text{px}$  を距離閾値  $D$  として注視点を抽出し、東小園 [7] の評価手法の正解率を計算する。時間閾値  $T$  は  $100\text{ms}$  のまま計算によって得られた正解率は表 2、図 5、図 6、図 7 の通りである。

表 2 パラメータを変更した時の正解率

距離閾値 $D$	angle	distance	area
17px	0.646	0.688	0.604*
18px	0.646	0.750	0.583
19px	0.625	0.625	0.604*
20px	0.625	0.625	0.604*
21px	0.604**	0.729	0.542
22px	0.708	0.708	0.521
23px	0.729	0.688	0.542
24px	0.708	0.708	0.521
25px	0.729	0.771*	0.563
26px	0.771	0.729	0.500
27px	0.750	0.646	0.521
28px	0.792	0.646	0.521
29px	0.771	0.625	0.521
30px	0.708	0.708	0.479**
31px	0.750	0.688	0.500
32px	0.813	0.563	0.479**
33px	0.729	0.688	0.479**
34px	0.729	0.604	0.500
35px	0.688	0.646	0.500
36px	0.750	0.625	0.500
37px	0.771	0.563	0.521
38px	0.688	0.625	0.542
39px	0.750	0.646	0.521
40px	0.750	0.625	0.521
41px	0.792	0.604	0.521
42px	0.854	0.583	0.521
43px	0.792	0.563	0.500
44px	0.729	0.583	0.500
45px	0.813	0.542	0.500
46px	0.708	0.563	0.521
47px	0.771	0.563	0.521
48px	0.708	0.542	0.583
49px	0.708	0.563	0.542
50px	0.771	0.542	0.521
51px	0.771	0.521	0.542
52px	0.833	0.521	0.521
53px	0.854	0.563	0.542
54px	0.833	0.563	0.542
55px	0.854	0.500**	0.542
56px	0.875*	0.521	0.542
57px	0.875*	0.521	0.521
58px	0.813	0.542	0.521
59px	0.750	0.542	0.500
60px	0.833	0.521	0.500
61px	0.792	0.521	0.500
62px	0.771	0.521	0.500
63px	0.708	0.542	0.500
64px	0.771	0.542	0.500
65px	0.813	0.563	0.521
66px	0.750	0.542	0.521
67px	0.771	0.563	0.521

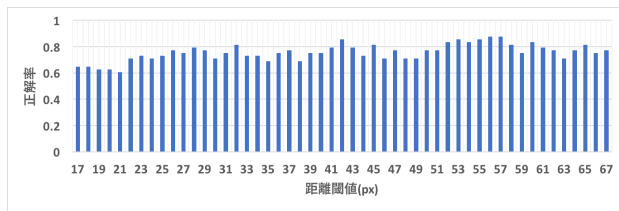


図 5 angle についての正解率

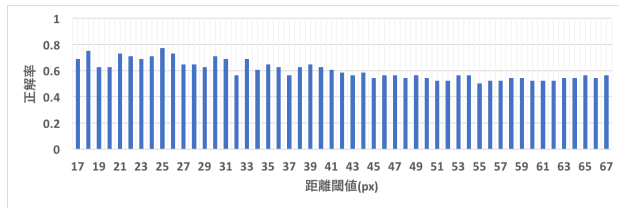


図 6 distance についての正解率

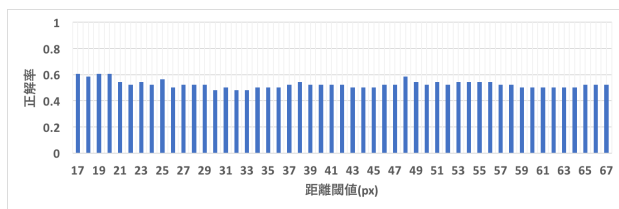


図 7 area についての正解率

表 2 より、視線計測装置によって計測した視線情報から注視点を抽出する際のパラメータを変更することで本評価手法の正解率が影響を受けることが確認された。表 2 において\*は素性の中で最も低い正解率を表し、\*\*は素性の中で最も高い正解率を表している。

素性 angle を用いた場合、距離閾値  $D$  を 56, 57px にしたときに最も正解率が高くなり、距離閾値  $D$  を 21px にしたときに最も正解率が低くなった。

素性 distance を用いた場合、距離閾値  $D$  を 25px にしたときに最も正解率が高くなり、距離閾値  $D$  を 55px にしたときに最も正解率が低くなった。

素性 angle を用いた場合、距離閾値  $D$  を 17, 19, 20px にしたときに最も正解率が高くなり、距離閾値  $D$  を 30, 32, 33px にしたときに最も正解率が低くなった。

## 6. おわりに

本研究は東小園 [7] を先行研究とし、先行研究で提案された評価手法について、視線情報をモデル化の際に用いるパラメータを変更することが評価手法の正解率に与える影響を調べた。

先行研究では「複数の単語が二次元平面上に配置された図」をキーワードマップと定義し、「画面上にいくつかのグループに分けることのできるキーワードを表示し、それらをグループ分けしてもらおう」タスクを考察している。質の高い図と質の低い図について実験協力者がこのタスクを行

う際の視線の動きを視線計測装置を用いて計測する。得られた視線情報から抽出された注視点を持つ素性について、複数の実験協力者間の類似度が低いキーワードマップほど質の高いキーワードマップであると判定する評価手法が先行研究での提案手法である。この評価手法は「質の高い図に対する視線情報よりも質の低い図に対する視線情報の方が個人差が顕著に出る」という仮説に基づいている。

本研究でのパラメータの変更方法について具体的には、視線情報から注視点を抽出する際のパラメータである距離閾値を変更することで抽出される注視点を本来の注視点に近づけることが目的である。Salvucci[16] で提案された注視点抽出アルゴリズムに基づき、設定できる範囲で距離閾値を変化させた。

その結果、注視点から取り出した素性 angle については設定できる範囲では適度に距離閾値が大きいときに正解率が高くなる傾向が見られた。この結果は、視線情報から取り出された注視点がキーワードマップを見る際の人間の意図に沿った視線に近づいたからだという仮説を立てることが出来る。

ただし一方で、注視点から取り出した素性 distance, area については設定できる範囲での距離閾値を大きくしても正解率が高くなる傾向は見られなかった。素性 angle を表すヒストグラムについてはそれぞれの階級が持つ度数の分散が小さいが、素性 distance, area を表すヒストグラムについてはそれぞれの階級が持つ度数の分散が素性 angle に比べると常に大きいことが原因となっている可能性が考えられる。素性 distance については短い距離を表す階級の度数が高いことが多く、素性 area についてはキーワードマップの中央付近を表す階級の度数が高いことが多い。

以上より、本評価手法の正解率を最も高くするような距離閾値を調べ、その距離閾値を用いて評価実験を行うことが本評価手法の精度向上に繋がると考えられる。

今後の課題は、ベクトルの階級の取り方を調整することで素性ごとの正解率を向上させることである。

## 参考文献

- [1] 新井健太郎, 杉本晃宏, 井宮淳. 人間の視覚特性を考慮した視線検出の安定化. 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 2005.38 (2005-CVIM-149), pp. 143–150, 2005.
- [2] 大根田知也, 鎌倉稔成, 加藤俊一. ヒトの視覚探索行動における注目点の抽出. 映像情報メディア学会技術報告 Vol. 33, No. 20, 一般社団法人映像情報メディア学会, pp. 9–12, 2009.
- [3] 大野 健彦. 視線から何がわかるか-視線測定に基づく高次認知処理の解明. 認知科学, Vol. 9, No. 4, pp. 565–579, 2002
- [4] 梶並 知記, 高間 康史. キーワードマップ上での気づかせ支援による意思決定へ及ぼす影響に関する考察. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 11, pp. 3052–3064, 2011.
- [5] 岸谷 大地. キーワード鳥瞰図の可視化における視線追跡を用いた評価. 東京工業大学修士論文, 2012.

- [6] 盆子原直己, 白山晋. 映像を介したインタラクションにおける情報受容に対する記憶の影響評価. HAI シンポジウム 2017, 2017.
- [7] 東小蘭 憲人. 視線情報を用いたキーワードマップの評価手法. 東京工業大学修士論文, 2014.
- [8] 福田忠彦. 図形知覚における中心視と周辺視の機能差. テレビジョン学会誌 32 巻, 6 号, pp. 492-498, 1978.
- [9] 福田忠彦. 周辺視における文字列の認識と側干渉効果. テレビジョン学会誌 33 巻, 9 号, pp. 726-731, 1979.
- [10] 松尾 哉太, 新妻 弘, 崇太田 学. Twitter タイムラインの話題の可視化の一手法. DEIM Forum 2014, E1-5, 2014.
- [11] 安原 正晃. 視線情報を利用した協調作業対話における参照解析. 東京工業大学修士論文, 2011.
- [12] Huang Weidong. Using eye tracking to investigate graph layout effects. Visualization, APVIS'07. 6th International Asia-Pacific Symposium on. IEEE, pp. 97-100, 2007.
- [13] Ito Takeshi, Hitoshi Matsubara, and Reijer Grimbergen. Chunking in shogi: new findings. Advances in Computer Games. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 140-154, 2005.
- [14] Arto Klami, et al. Can relevance of images be inferred from eye movements?. In Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval, MIR '08, pp. 134-140, 2008.
- [15] Salvucci Dario D. and John R. Anderson. Automated eye-movement protocol analysis. Human-Computer Interaction., Vol. 16, No. 1, pp. 39-86, 2001.
- [16] Salvucci Dario D. and Joseph H. Goldberg. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications. ACM, pp. 71-78, 2000.
- [17] Tai Yu-Chi, James Sheedy, and John Hayes. Effect of letter spacing on legibility, eye movements, and reading speed. Journal of Vision 6.6, p. 994, 2006.
- [18] Zhai, Shumin, Carlos Morimoto, and Steven Ihde. Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 1999.
- [19] Zhang Yun, et al. Eye movement as an interaction mechanism for relevance feedback in a content-based image retrieval system. Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications. ACM, pp. 37-40, 2010.