

視線情報の分析に基づくプログラミング教育支援システムの提案

松本 光稀† 若原 徹

法政大学情報科学部†

1. はじめに

近年では視線の動きに着目してユーザの意図を推定する研究が幅広い分野で行われている。プログラミング分野に関連した研究[1][2][3]では、ソースコード中のエラー検出における初学者と熟練者の視線移動をヒートマップやアニメーションを用いて可視化することで、その違いなどの特徴を明らかにしている。また、花房ら[4]は、プログラム読解中の視線情報をヒートマップで可視化し、ソースコードとヒートマップの2つを重ねた画像を機械学習させ、「得意群」と「不得意群」の2クラスに分類することに成功している。

本研究では、まず、Java 言語のテスト問題をモニタに表示して、初学者と熟練者を含む被験者に解かせ、その際の視線情報の各種データをアイトラッカー Tobii EyeX Controller[5]を用いて収集した。次に、収集した視線情報データに複数の尺度を適用し、初学者と熟練者間でのプログラミング問題を解く際の視線の動きの違いを分析した。初学者と熟練者間でのヒートマップの違いはKLダイバージェンスを用いて評価した。最後に、新たな初学者を被験者として、モニタに表示したJava言語のテスト問題に、ヒントとして正解者の視線のヒートマップを重畳して見せるプログラミング教育支援システムを作成して、その効果を評価した。実験結果より、提案システムの有望性が示された。

2. データ収集方法

本研究では、市販のアイトラッキングデバイスを用いて視線情報を取得し、プログラム読解中の視線を記録するためのアプリケーションを作成した。

図1に、各被験者のデータ収集の様子を示す。

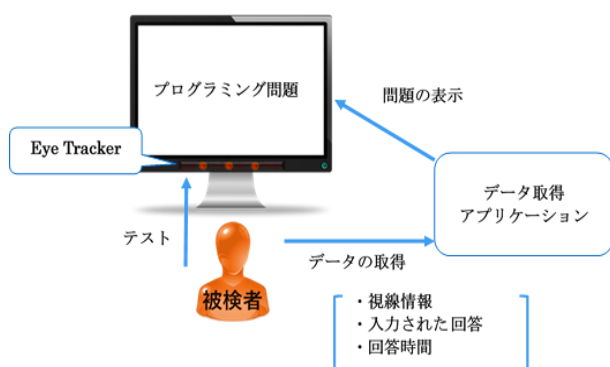


図1 視線データ収集の様子

3. 視線情報の分析手法

ここでは、プログラムコードを読解中の視線情報から、注視場所を特徴として得ることを目的とする。各ユーザの注視場所を視覚的に判断するために、ヒートマップを用いた。また、注視箇所の分布の違いをKLダイバージェンスにより評価する。

3.1. ヒートマップ

ヒートマップとは、データの強弱を色で可視化する手法である。視線情報の場合は、場所ごとの注視点の多少を色の強弱で可視化する。基本的に最も注視されている場所ほど赤く表示され、あまり視線が向けられなかった場所には青が表示される。

3.2. KL ダイバージェンス

KL ダイバージェンス (Kullback-Leibler divergence) とは、2つの確率分布 $P(X)$, $Q(X)$ の差異を測る尺度であり、次式(1)で定義される。

$$D_{KL}(P \parallel Q) = \sum_x P(x) \log \frac{P(x)}{Q(x)} \quad (1)$$

本研究では、ヒートマップを値の和が1になるように正規化して、確率分布とみなし、2つのヒートマップ間でのKLダイバージェンスを算出する。ただし、非対称であるため、相加平均 $1/2(D_{KL}(P \parallel Q) + D_{KL}(Q \parallel P))$ を用いる。

4. 視線情報の分析実験

18名の被験者に参加してもらい、Java言語のテスト問題を7問、各問3分で解いてもらった。

次に、“正解者同士”、“正解者と不正解者”、“不正解者同士”の3つカテゴリの分け、問題ごとに各カテゴリに属する被験者2名毎のヒートマップ間でKLダイバージェンス値を算出し、全問題でそれぞれ平均を取った。

図2に、各カテゴリのKLダイバージェンス値を示す。

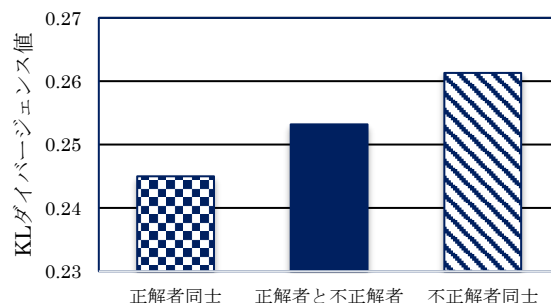


図2 各カテゴリでのKLダイバージェンス値

図2より、“正解者同士”の注視箇所のKLダイバージェンス値が最も小さく、正解者の視線の動きにはある程度共通したものがあることが分かる。

5. 正解者視線データを用いたプログラミング教育支援システムの提案と評価実験結果

4.の分析結果に基づき、問題ごとに“ヒント”として、正解者の視線データのヒートマップを重畳して表示するシステムを実装した。ここでは、各問題の正解者全員の視線データを合成したもののヒートマップ（以下、「正解者視線データ」と呼ぶ）を生成し、評価実験に用いた。

ただし、各問題は3分で解かせ、2分経過した時点でヒントを自動で表示した。図3に、表示例を示す。

図4に、ヒント提示の前後で、被験者11名のヒートマップがどう変化したかを、それぞれ正解者視線データのヒートマップとのKLダイバージェンス値で示す。

```

1 public class Ticket{
2     public static void main(String[] args){
3         ReserveSeat seat1 = new ReserveSeat();
4         reserve(85024114, "F17");
5         show();
6     }
7 }
8
9
10
11 class ReserveSeat {
12     int num;
13     String seat;
14
15     void reserve(int n, String s){
16         num = n;
17         seat = s;
18         System.out.println("チケット番号は " + num +
19             "で座席番号は " + seat + "でご購入の注文をりました。");
20     }
21     void show(){
22         System.out.println("チケット番号は " + num + "です。");
23         System.out.println("座席番号は " + seat + "です。");
24     }
25 }
26

```

図3 正解者視線データを重畳したテスト問題の表示例

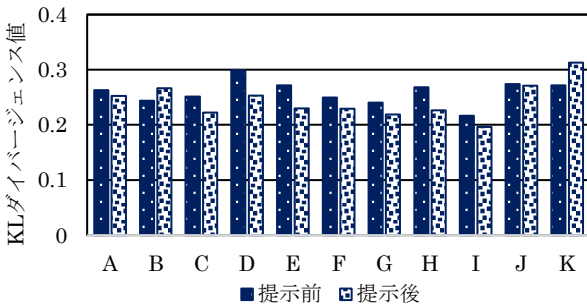


図4 正解者視線データと各被験者のヒント提示前後の視線データのKLダイバージェンス値

図4より、ほとんどの被験者においてヒント提示後の視線が、ヒント提示前のKLダイバージェンス値よりも小さくなった。

表1に、システム利用後のアンケート結果を示す。

Q1がヒントの提示が問題の解答に役に立ったかどうか、Q2がヒントの提示方法が適切であったか、Q3がヒント提示のたが適切であったか、についての質問を指す。

表1 各アンケート集計結果のグラフ

Q1	邪魔	無い方がいい	役立つ	非常に役立つ	
人数	2	0	9	0	
Q2	見やすい		見にくい		
人数	8		3		
Q3	遅い	やや遅い	ちょうどいい	やや早い	早い
人数	0	8	2	1	0

表1より、ほとんどの被験者がヒント提示について有用であったと評価した。さらに、ヒートマップでの提示についても見やすいという評価を得ることができた。

自由記述欄にあった意見を以下に掲げる。

- デバッグ問題（間違い探し）には有効であった。
- 実行結果を記述する問題には有効ではなかった。
- 見当もつかない問題に関しては正しい解答につながらなかった。

6. 考察

図4の正解者視線データとの注視点比較では、ヒント提示後はマッピングされた場所に目が向けられると予想したが、実際、KLダイバージェンスを用いて計算した値が小さくなった。この結果から、被験者はコード上に重畳したヒートマップ付近の処理に着目し、答えを導き出そうとしていたと考えられる。逆に値が大きくなった被験者に関しては、提示したヒントが邪魔だと感じて注目しなかった、あるいは、ある程度反発したと考えられる。

アンケートからは、ヒントの提示が役に立ったという評価を得た。しかし、自由記述欄での意見より、今後の課題点が明らかになった。まず、バグがどこにあるかという問題に対してはヒントが有効であったが、実行結果の記述や選択の問題などでは直接的なヒントには成り得ないという点がある。また、知識量が少ない人に対しては、注視すべき場所を示しても答えを導くための理解度に到達できないことが予想される。改善策としては、注視の順序をヒントとして提示することが考えられる。

7. むすび

本研究では、プログラミングに関する問題を解く際の読解における視線情報を取得するアプリケーションを作成し、各問題の正解者と不正解者の注視場所に差が生じるかどうかについてKLダイバージェンスを用いて分析した。正解者同士の注視場所は類似しており、不正解者同士はバラつきが大きいという結果を得た。これらの結果をもとに、各問題の正解者の注視場所をヒートマップで提示するプログラミング教育支援システムを提案した。評価実験より、提案システムの有望性が確認できた。

文献

- [1] M. Nivala, F. Hauser, J. Mottok, and H. Gruber, "Developing visual expertise in software engineering: An eye tracking study," *Proc. Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 613-620, April. 2016.
- [2] 沖本恒輝, 加島智子, 松本慎平, 山岸秀一, "視線追跡に基づいたプログラミング思考過程の推定 - プログラミング言語習得のための分析 -," 教育システム情報学会 2013年度学生研究発表会, pp. 45-46.
- [3] Y. Lin, C. Wu, T. Hou, "Tracking Students' Cognitive Process During Program De bugging-An Eye-Movement Approach," *Proc. Transaction on Education*, pp.175-186, Oct. 2015.
- [4] 花房亮, 山岸秀一, 松本慎平, 加島智子, "機械学習処理に基づいたプログラミング読解中の視線軌道の自動分類," *The 29th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, 2015.
- [5] Tobii EyeX Controller ホームページ <https://tobiigaming.com/product/tobii-eyex/>