

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

Automatic Classification of Eye Tracking Patterns in Reading Program based on Machine Learning

花房 亮*¹
Ryo Hanafusa

山岸 秀一*¹
Shuichi Yamagishi

松本 慎平*¹
Shimpei Matsumoto

加島 智子*²
Tomoko Kashima

*¹ 広島工業大学 情報学部
Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology

*² 近畿大学 工学部
Faculty of Engineering, Kindai University

We have ever focused on a point of tacit skills of programming which strongly relate to the experiences of learning, and gave previous reports in order to reveal the features of the people who are not good at programming. Therefore, it has been previously reported that eye motions are strongly affected by accumulated experiences and we tried to reveal the process of understanding programming qualitatively from the point of view of eye motions. In this research, we aim to classify the representative patterns of eye motions during understanding computer programs quantitatively between the people who have different programming skills by using machine learning method.

1. はじめに

ソフトウェア開発に対する社会からの要望は今後一層拡大することが予測されている。特に近年、プログラマを中核に据えたソフトウェア開発技法が多くの開発現場で積極的に採用されている。したがって、情報技術者は、直接プログラミングに関わらない場合であってもプログラミングの本質を十分に理解していることが強く求められるようになる。そのため、プログラミングを得意とする層だけではなく不得手とする層に対しても、的確な指導により支援することが必要になる。ところで、Dehnadi らによると、プログラミング素養は、ある無意味な規則を首尾一貫して適用できるかどうか依存しており、素養のある層とない層に分類されると言われている。さらに、できない層は、無意味な規則に無理やり意味を持たせて理解しようと試みる層と、まったく理解できない層に二分される[Dehnadi 06]。そこで、従来言語化が困難であった「できない」理由を学習者の特徴から明らかにし、学習者に適した方法でプログラミングを教授する必要があると考えられる。

プログラミングを不得手とする層の特徴を明らかにするため、著者らはこれまで、プログラミングが学習経験に強く関係する暗黙的思考技能である点に着目し、蓄積経験が強く反映される眼球運動のデータを用いてプログラミング読解の過程を眼球運動の観点から明らかにすることを試み、既報でその成果を報告してきた[沖本 2014a][沖本 2014b]。プログラミング読解の過程を眼球運動の観点から明らかにする研究は既に報告されているが[Uwano 2007]、視線追跡のデータに基づき、プログラミング技能の自動判別や特徴抽出、それらを活用した教授法構築を試みた研究については十分に行われていない。

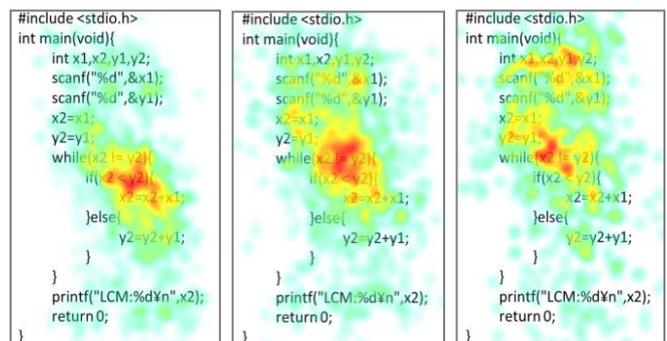
そこで本研究では、プログラミング読解学習の思考過程を課題とし、学習者の主観的技能程度に応じて視線運動に差が生じるかどうかの検証を行うこと、そして機械学習を用いて視線追跡の結果の分類を自動化及び定量化することを目的とする。

2. 視線追跡データによるプログラミング技能分類

言語の全般的な基本文やアルゴリズム基礎・演習といったプログラミングの基本を既に習得している大学 4 年生 24 名を被験者として、C 言語のプログラムを提示して処理の内容を説明

連絡先: 花房 亮, 広島工業大学情報学部知的情報システム
学科, 〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1,
E-Mail: b212087@cc.it-hiroshima.ac.jp

してもらい、その間の視線パターンを観察する実験を行った。ここで、眼球運動計測には、Tobii Technology 社製 X2-30 アイトラッカーを使用した。プログラミングに対する得手・不得手の主観評価と過去のプログラミング関連科目の成績を参考として、被験者を得意群 8 名、普通群 8 名、不得意群 8 名の計 3 群に分類する。これらの被験者に、多くて 20 行程度のプログラムを 13 インチディスプレイにちょうど収まるサイズにまで文字を拡大して提示する。これを実験課題として被験者に示し、プログラム読解中の被験者の眼球運動を取得する。実験後、ゲイズブレイを用いた回顧的発話思考法により、被験者から回答を得る。ここでは、視線の動作記録を被験者に提示しながら、どのような理由で視線を動かしていたのか、あるいは注目していた理由などをヒアリングする。実験結果は、各ソースコードに対して被験者が注目していた箇所をゲイズプロットとヒートマップで示す。実験結果の一例を図 1 に示す。



(a) 得意群 (b) 普通群 (c) 不得意群
図 1 実験結果の一例

これらの実験から、スキルに応じた注視箇所の差を確認できる。

3. 実験結果の考察

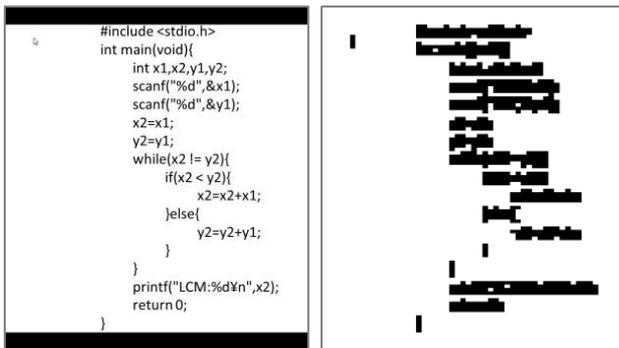
得意群では、被験者同士で注目箇所にはほぼ一致が見られ、とりわけ処理の中で重要となる箇所を注視できていたことを確認した。

一方、普通群では、被験者ごとに振る舞いの多様性が存在すること、また注目箇所が全体的に発散している傾向にあることが分かった。その理由として、被験者間で視線軌道に多様性が存在していたことが挙げられる。この群は、一通りプログラミングを理解しているという自覚から全てを見ようとするが、非効率な面が主要因として考えられ、これは経験不足が大きく影響していると考えられる。

また、不得意群でも、被験者ごとに振る舞いの多様性が確認された。とりわけ、変数宣言やヘッダといった本質的に重要ではない箇所に注視が行われている点が不得意群の特徴であった。この背景には単純な知識不足があり、その結果、無意味な文脈から存在しない意味を探そうとした、あるいは自分の規則で考えようとした結果であると考えられる。

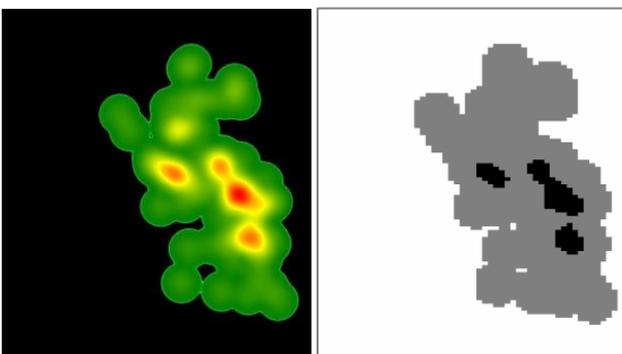
4. 学習者層分類の自動化及び定量化

以上の実験では学習者の分類は定性的であったが、定量的な学習者の分類を行なうために、機械学習による視線運動の学習及び分類を行った。分類には、代表的な手法である SVM (Support Vector Machine)を用いた。また、視線追跡の画像データをそのまま機械学習にかけると学習に非常に時間がかかるため、問題文の画像データと視線追跡のヒートマップから特徴を 100x100 画素を 1 データにまとめる単純化を施して解析を行った(図 2 および図 3 参照)。



(a) 変換前 (b) 変換後
図 2 問題文に対する単純化の一例

さらに、ヒートマップについては、RGB それぞれの画素毎に閾値を設定し、 $R > 240$ の部分を「注視している箇所(黒色に変換)」、 $G > 128$ の部分を「見ている箇所(グレーに変換)」、そして、それ以外の部分を「見ていない箇所(白色に変換)」とした。



(a) 変換前 (b) 変換後
図 3 ヒートマップに対する単純化の一例

こうして得られた問題文の画像とヒートマップの画像を重ねることで、問題文の内「注視している箇所」と「見ている箇所」を抽出した(図 4 参照)、このデータを SVM に学習させパターン分類を試みた。今回は単純化のため、Dehnadi の分類における得「意群と普通群」、そして「不得意群」の 2 種類にラベルを割り当てた。学習の結果、難易度が比較的難しい問題に対しては、分類の平均正答率は 0.71 と高い値が得られた。一方、難易度が比較的低い問題に対しては、分類の平均正答率は 0.56 と低い結果となった。これらの結果により、Dehnadi の学習者層の分類を機械学習によって裏付けることが出来、さらに問題の難易度が下がることにより、被験者の視線パターンの多様性が現れ二分類では不足するという実験結果も裏付けられた。



図 4 図 2(b)と図 3(b)の重なり合っている部分の抽出

5. おわりに

本研究では、学習者の主観的到達度や理解度に応じて視線運動に差が生じるかどうかの検証を行った。そして、機械学習を用いた分類により到達度や理解度に応じて視線運動に差が出るということが定量的に確かめられた。

謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会平成 25 年度科学研究費助成事業(若手(B) 13304922)および平成 26 年度科学研究費助成事業(基盤研究(C) 26350296)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [Uwano 2007] H. Uwano, M. Nakamura, A. Monden, and K. Matsumoto, Exploiting Eye Movements for Evaluating Reviewer's Performance in Software Review, IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E90-A, No.10, pp.317-328 (2007).
- [沖本 2014a] 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, 教育システム情報学会 2013 年度学生研究発表会中国支部講演論文集, D3, pp.45-46 (2014).
- [沖本 2014b] 沖本恒輝, 松本慎平, 加島智子, 山岸秀一, 青木真吾, プログラミングトレース学習の思考過程推定法の提案, 第 39 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, SG1-2, pp.309-310 (2014).
- [Dehnadi 06] S. Dehnadi and R. Bornat, The camel has two humps (working title), <http://www.eis.mdx.ac.uk/research/PhDArea/saeed/paper1.pdf>, 2015 年 3 月 21 日参照.