

**Magdalena ANDRZEJEWSKA, Anna STOLIŃSKA**

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Polska

## **Zastosowanie okulografii do identyfikacji metod analizy problemu algorytmicznego**

### **Wstęp**

Proces uczenia się jest w dużym stopniu związany z odbieraniem oraz przetwarzaniem bodźców docierających do nas z otoczenia. Najważniejszym zmysłem dostarczającym najwięcej informacji jest wzrok. Badania okulograficzne dostarczające informacji na temat czynności motorycznych, optycznych i wzrokowych gałek ocznych dają podstawę do analizy o charakterze psychologicznym – czyli opisu percepcji wzrokowej [Duchowsky 2007]. W badaniach okoruchowych przyjmuje się założenie, że spojrzenie kierowane jest na te elementy sceny wizualnej, o których się myśli, które dla oglądającego mają znaczenie, więc parametry ruchów oczu są interpretowane jako wskaźniki procesów poznawczych [Francuz 2010: 88].

Podczas uczenia się dużą rolę odgrywa umiejętność selekcji i porządkowania informacji. Pomaga w tym uwaga (w szczególności uwaga selektywna), która jest elementarną funkcją poznawczą. Jest to rodzaj koncentracji, dzięki której można skupić się na wybranych bodźcach. Ważnymi wskaźnikami umożliwiającymi analizę procesu kierowania uwagi jest czas poświęcony na przetwarzanie danych i kolejność, w której obserwowane są elementy sceny wizualnej. Okulografia, która umożliwia pomiar m.in. tych wskaźników, okazuje się być przydatną techniką stosowaną w badaniach edukacyjnych [Stolińska i in. 2014: 21].

Programowanie obok szeroko rozumianych umiejętności cyfrowych uważa się za jedną z kluczowych kompetencji, które będą mieć wpływ na rozwój cywilizacyjny społeczeństw. Jest to jednak umiejętność, którą powszechnie uważa się za trudną [Jenkins 2002]. Okazuje się, że uczący się programowania mają trudności z analizą algorytmów – podstawową umiejętnością ich odczytania, rozumienia i przewidywania wyników ich działania. Obserwacja tego, co aktywuje uwagę, które bodźce są potrzebne, aby zainicjować pracę z informacją, czyli znajdowanie optymalnych (prowadzących do rozwiązania problemu) wzorców przetwarzania informacji może doprowadzić do odkrycia podejmowanych przez uczniów strategii i w dalszej kolejności może przyczynić się do usprawnienia procesu kształcenia w zakresie programowania.

Celem artykułu jest ocena użyteczności narzędzia badawczego, którym jest *eye-tracking*, do rozpoznania sposobów analizy schematu blokowego jako formy prezentacji określonego algorytmu.

## Metodologia badań

Eksperyment przeprowadzono w laboratorium neurodydaktyki Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. W badaniu zastosowano eyetracker firmy Senso Motoric Instruments iViewX™Hi-Speed500/1250 rejestrujący strumień danych z rozdzielczością czasową 500 Hz, takich jak np.: koordynaty (czyli współrzędne  $x$  i  $y$  pozycji wzroku), szerokość źrenicy (pomiar relatywny i absolutny), parametry fiksacji (czyli zatrzymań wzroku na danym elemencie) i sakad (którymi są szybkie ruchy oka zachodzące pomiędzy kolejnymi fiksacjami). Zastosowana w tym systemie konstrukcja interfejsu pozwala na stabilne utrzymywanie głowy w bezruchu bez ograniczania pola widzenia badanego. Przed każdym badaniem wykonywana była kalibracja oraz inne czynności, których celem było takie przygotowanie osoby badanej, by uzyskane wyniki można było uznać za rzetelne i nieprzekłamane. Między innymi korygowano położenie podpory podbródka, tak by badany znajdował się w jak najbardziej komfortowej pozycji przy jednoczesnym zachowaniu wycentrowanej w stosunku do środka ekranu pozycji oczu. Ponadto, w trakcie badania wszystkim osobom zapewniono jednakowe warunki otoczenia, takie jak temperatura, oświetlenie oraz izolacja akustyczna. Wyniki opracowano z użyciem oprogramowania SMI BeGaze™ 2.4.

Badania eyetrackingowe wymagają analizy nie tylko danych ilościowych, ale również (równocześnie) analizy jakościowej – zarówno materiału uzyskanego w wyniku pomiarów (np. statycznych ścieżek wzroku czy też filmów pokazujących punkty, w których znajduje się wzrok osoby badanej – *bee swarm*), jak i prowadzenia obserwacji uczestnika badań (jawnej bądź ukrytej) oraz wywiadu (pogłębionego, zogniskowanego). W tym artykule opisano proces analizy danych wizualnych (ścieżek wzroku i filmów *bee swarm*).

W eksperymencie wzięło udział 52 uczniów III klas gimnazjum w wieku 16 lat, w tym 25 dziewcząt oraz 27 chłopców. Dane pomiarowe 4 osób ze względów technicznych odrzucono i do dalszej analizy zakwalifikowano 48 przypadków. Wśród badanych uczniów wyróżniono grupę laureatów konkursu przedmiotowego z fizyki - liczyła ona 16 osób. Wzrok wszystkich badanych był normalny lub skorygowany do normalnego. Wszyscy uczniowie mieli w swojej szkolnej edukacji do czynienia z rozwiązywaniem zadań algorytmicznych, co potwierdził sondaż przeprowadzony przed badaniem.

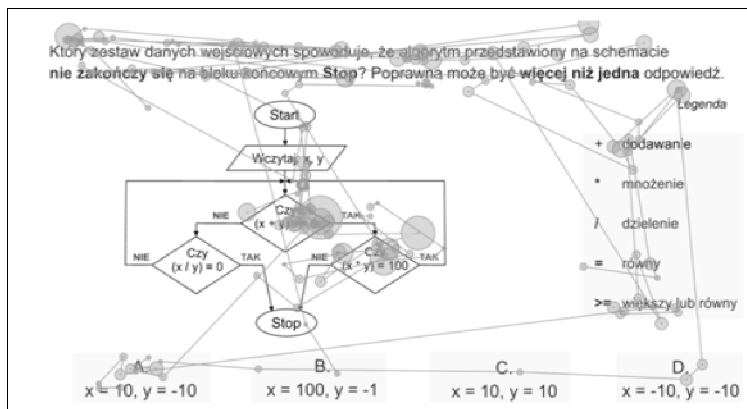
Omawiane w artykule i rozwiązywane przez badanych zadanie algorytmiczne miało postać schematu blokowego. Wskaźnik poprawności rozwiązania wyniósł 27%, zadanie rozwiązało tylko 13 uczniów, wśród których 9 to finaliści konkursu przedmiotowego z fizyki.

## Wyniki badań

Uczniowie rozwiązywali zadanie przedstawione na rys. 1. Z treści polecenia mogli odczytać, że dokonując analizy algorytmu przedstawionego na schemacie

blokowym, powinni wskazać, który zestaw danych wejściowych spowoduje, że algorytm nie zakończy się na bloku *Stop*. Podano im również informację, że może być więcej niż jedna poprawna odpowiedź. Na slajdzie dodatkowo umieszczono legendę opisującą znaczenie użytych w wyrażeniach warunkowych operatorów, które miały charakter podstawowych operatorów arytmetycznych (addytywnych i multiplikatywnych) oraz operatorów relacji i porównania.

Z uwagi na charakter problemu, którym jest analiza algorytmu, uzyskanie poprawnego wyniku jest zdeterminowane przez wykonanie w odpowiedniej kolejności sekwencji operacji, która w tym przypadku przede wszystkim była uzależniona od odpowiedniej interpretacji wyrażeń zapisanych w blokach warunkowych. Zastosowano legendę, ponieważ nie wszystkie symbole operatorów były zgodne z ich odpowiednikami matematycznymi. Były natomiast reprezentowane przez typowe znaki stosowane w najpopularniejszych językach programowania (Pascal, C, C++). Ocena, czy dany zestaw wejściowy spełnia kryteria zadania, wymagała w każdym przypadku jego „wczytania” i wykonania obliczeń dla dwóch wyrażeń warunkowych. Wśród odpowiedzi dwie były prawidłowe i wskazanie ich obu oznaczało poprawność rozwiązania.



**Rys. 1. Analizowane zadanie algorytmiczne – przykładowa ścieżka wzroku (*scanpath*)**

Ilustracja powyżej przedstawia fiksacje (okręgi o różnej średnicy, proporcjonalnej do długości czasu zatrzymania wzroku w danym obszarze) oraz ścieżki sakad (linie proste pomiędzy fiksacjami) – zapis ekranu dokonany w trakcie rozwiązywania zadań. Dla każdej z badanych osób przeanalizowano szczegółowo ścieżkę sakad i fiksacji (*scanpath*). Podczas tej analizy jakościowej rozstrzygano następujące kwestie:

**1. Czy uczniowie śledzą algorytm zgodnie z przebiegiem sterowania? Udzielenie poprawnych odpowiedzi wymagało w przypadku tego zadania**

**analizy wszystkich warunków (obliczenia sumy i – w zależności od uzyskanego wyniku – iloczynu lub ilorazu wartości wczytywanych).**

Większość uczniów (8) rozwiązywała algorytm zgodnie z przewidywaniami – „pobierali” dane (oglądali dystraktor), przenosili wzrok na algorytm i w jego obrębie podążali wzrokiem wzdłuż tych gałęzi, których kolejność wynikała z realizacji warunków. Jeden z uczniów sprawdził spełnienie pierwszego warunku dla wszystkich 4 dystraktorów, a dopiero potem analizował dla kolejnych wartości bloki warunkowe z drugiego poziomu. Pozostali uczniowie (4) nie śledzili algorytmu zgodnie z przebiegiem sterowania.

**2. Czy uczniowie „pobierają” (czytają) i sprawdzają każdą odpowiedź (dystraktor)? Wskazanie dwóch poprawnych odpowiedzi wymagało weryfikacji 4 zestawów danych.**

Wszyscy uczniowie weryfikowali 4 zestawy liczb, przy czym wydaje się, że kilku z nich popełniało błąd na etapie dodawania liczb ujemnych – ich wzrok nie przenosił się na lewe ramię algorytmu, ale podążał wzdłuż prawego ramienia, w którym możliwe było uzyskanie poprawnej odpowiedzi przy prawidłowym już mnożeniu liczb ujemnych (w efekcie pomimo błędu obliczeniowego możliwe było wskazanie właściwego rozwiązania).

**3. Czy po sprawdzeniu pierwszego warunku uczniowie ponownie odczytują dane wejściowe (wracają do nich), co mogłoby sugerować, iż przechowywanie dwóch wartości w pamięci roboczej może w tym przypadku stanowić nadmierne obciążenie poznawcze?**

Uczniowie wielokrotnie powtarzali czynność „pobierania danych” oraz wykonywania na nich obliczeń zapisanych w blokach warunkowych.

**4. Czy uczniowie upewniają się, że wskazali poprawną odpowiedź, czyli ponownie wykonują algorytm dla danej pary liczb wejściowych?**

Tylko jeden uczeń systematycznie i po kolej rozpatrywał każdy dystraktor (średnio dwukrotnie wczytując te same dane) i po wybraniu poprawnych odpowiedzi nie weryfikował ich ponownie.

W wyniku analizy ścieżek wzroku dokonano klasyfikacji badanych na trzy grupy:

- uczniów, którzy rozwiązywali zgodnie ze sterowaniem wynikającym z warunków,
- uczniów, którzy wskazali poprawnie odpowiedź, ale błędnie analizowali algorytm,
- uczniów o „nietypowej” aktywności wzrokowej.

Obserwacje ścieżek wzroku pozwoliły zauważyć, iż obliczenia wykonywane w pamięci dokonywane były wielokrotnie, pomimo iż zadanie wymagało dodania dwóch liczb, porównania z wartością 0, a następnie ich pomnożenia lub podzielenia. Można zatem stwierdzić, że uczniowie chcieli się upewnić, że prawidłowo rozwiązywali zadanie. Co więcej, znacznie częściej, niż to jest potrzebne w sytuacji rozwiązywania zadań z możliwością dokonywania obliczeń

pomocniczych np. na kartce, kontrolowane były przez badanych dane wejściowe.

Badanie okulograficzne wykazało, że możliwe jest odkrycie tylko na podstawie śledzenia ścieżki wzroku, którzy uczniowie dokonali pomyłki na etapie wykonywania operacji matematycznych. *Eye-tracking* pozwolił również zidentyfikować osoby, które nie czytały polecenia lub ich wzrok przemieszczał się tak chaotycznie, że niemożliwe było wyodrębnienie wzorca przetwarzania informacji.

## Podsumowanie

Nauczanie programowania to przede wszystkim kształtowanie umiejętności rozwiązywania problemów i zdolności logicznego, analitycznego oraz abstrakcyjnego myślenia. W ostatnich latach coraz częściej zwraca się uwagę na znaczenie umiejętności programowania, które obok szeroko rozumianych umiejętności cyfrowych uważa się za jedną z kluczowych kompetencji przyszłości i ważny element edukacji [Filiciak i in. 2013]. Coraz większe zainteresowanie zyskuje np. nurt określany jako „myślenie komputacyjne”, który propaguje rozwiązywanie problemów z różnych dziedzin z wykorzystaniem metod właściwych dla informatyki oraz opartych na kompetencjach informatycznych.

Zastosowanie techniki rejestracji aktywności wzrokowej do badania szeroko rozumianego procesu uczenia się poszerza naszą wiedzę w zakresie procesów poznawczych. *Eye-tracking* może być przydatny w identyfikacji zachowań i reakcji, których uczestnicy badań nie potrafią lub nie chcą opisać. I jak pokazują wyniki eksperymentu, może być pomocny w badaniach dotyczących metodyki nauczania informatyki, w szczególności w zakresie algorytmiki i programowania, gdyż pozwala zaobserwować i wyodrębnić wzorce przetwarzania informacji. Wydaje się również, że w kontekście wspomnianych tendencji edukacyjnych może mieć zastosowanie w rozwiązywaniu problemów z innych dziedzin, które będą bazować na „myśleniu komputacyjnym”.

## Literatura

- Duchowsky A.T. (2007): *Eye Tracking Methodology: Theory and pPractice*, London.
- Filiciak M., Sijko K., Tarkowski A. (2013): *Nauka programowania w szkołach. Czas na upgrade?*, Warszawa.
- Francuz P. (2010): *Ruchy gałek ocznych podczas wykonywania zadań wyobrażeniowych*, [w:] Francuz P. (red.), *Na ścieżkach neuronauki*, Lublin.
- Jenkins T. (2002): *On the Difficulty of Learning to Program*, [w:] *Proceedings for the 3rd Annual conference of the LTSN Centre for Information and Computer Sciences*, Loughborough, UK.
- Stolińska A., Andrzejewska M., Błasiak W., Godlewska M., Pęczkowski P., Rosiek R., Rożek B., Sajka M., Wcisło D. (2014): *Analysis of Saccadic Eye Movements of Experts and Novices when Solving Text Tasks*, [w:] Nodzyńska M., Cieśla P., Różowicz K. (red.), *New Technologies in Science Education*, Kraków.

## **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań jakościowych, w których wykorzystano technologię eyetrackingową w celu analizy procesu rozwiązywania zadania algorytmicznego przedstawionego w postaci schematu blokowego. Badanie przeprowadzono wśród uczniów gimnazjum. Identyfikacji metod analizy algorytmu przez badanych dokonano na podstawie filmów rejestrujących ścieżki wzroku (*scanpath*), które umożliwiają śledzenie przebiegu procesu przetwarzania informacji.

Uzyskane rezultaty pozwoliły odkryć, że nie wszyscy uczniowie, którzy podali poprawne odpowiedzi, prawidłowo rozwiązywali zadanie. Badania pokazały również, że w przypadku rozwiązywania zadań algorytmicznych konieczność dokonywania w pamięci nawet prostych obliczeń może stanowić poważne obciążenie poznawcze dla rozwiązującego zadanie. To spostrzeżenie nasuwa wniosek, iż w czasie weryfikacji umiejętności analizy algorytmu przez uczniów należy umożliwić im dokonywanie zapisu wyników obliczeń.

Wyniki eksperymentu pokazują zatem, iż technologia eyetrackingowa może być stosowana w procesie doskonalenia metod nauczania algorytmiki i programowania.

**Słowa kluczowe:** rozwiązywanie problemów algorytmicznych, nauczanie i uczenie się programowania, okulografia, ruchy sakadowe oczu, fiksacje.

## **Application Eye-Tracking Technology to Identify Methods of Analysis the Algorithmic Problem**

### **Abstract**

This article presents the results of qualitative research, which used eye-tracking technology to analyze the process of solving an algorithmic task shown in the form of block diagram. The survey was conducted among middle school students. Identification of the methods of analysis of the algorithm by the respondents were based on films, which record the sights track (*scan path*), that allows to track the information processing process.

The obtained results have revealed that not all students who gave correct answers, were solving the task in correct way. The study also showed that in the case of solving algorithmic tasks, the need to make even simple calculations in memory, can be a heavy cognitive burden for task solver. This observation leads to the conclusion that during the verification of students skills of analysis of algorithms, students should be allowed to make recording of the calculations.

The experimental results show, therefore, that eye-tracking technology can be used in the process of improving the methods of teaching of algorithms and programming.

**Keywords:** solving algorithmic problem, teaching and learning programming, eye-tracking technology; saccadic eye movements, fixation.