



MAGDALENA ANDRZEJEWSKA<sup>1</sup>, ANNA STOLIŃSKA<sup>2</sup>

## Kierowanie uwagą wzrokową w procesie rozwiązywania problemów algorytmicznych

---

### Guiding Visual Attention during Algorithmic Problems Solving

<sup>1</sup> Doktor inżynier, Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, Instytut Informatyki, Zakład Badań Edukacyjnych i Nowych Mediów, Polska

<sup>2</sup> Doktor, Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, Instytut Informatyki, Zakład Badań Edukacyjnych i Nowych Mediów, Polska

#### Streszczenie

W artykule opisano wyniki badań nad wpływem stosowania tzw. wskazówek typograficznych na wartości parametrów okulograficznych oraz efektywność rozwiązywania zalgorytmizowanego problemu matematycznego. W badaniu wzięło udział 48 uczniów III klas gimnazjum. Zaobserwowano wyższy odsetek odpowiedzi poprawnych oraz nieznaczne skrócenie czasu wykonania w przypadku zadania ze wskazówkami. Nie odnotowano istotnych różnic w wartościach parametrów okulograficznych. Uzyskany wynik można interpretować jako pozytywny efekt kierowania uwagą wzrokową uczniów w procesie rozwiązywania zadania algorytmicznego.

**Słowa kluczowe:** rozwiązywanie problemów, algorytmika, uwaga wzrokowa, okulografia

#### Abstract

The goal of this study is to investigate the influence of using the typographic cues on the efficiency of solving the algorithmic problem. The study was conducted on a group of 48 school age students of a third form of lower secondary school. Eye movement data were collected during the study. There was observed a slight reduction in execution time and a higher percentage of correct answers in the case of the task with cues. The eye tracking parameters did not differ significantly. The research results positively verifies the potential role of cueing students' visual attention during solving an algorithmic task.

**Keywords:** problem solving, algorithmics, visual attention, eye tracking

---

#### Wstęp

Umiejętność rozwiązywania problemów w sposób logiczny i uporządkowany odgrywa w nowoczesnym społeczeństwie coraz większą rolę. Przejawem tego jest rozpowszechnianie się idei tzw. myślenia komputacyjnego (*computa-*

*tional thinking*) uznawanego za kluczową kompetencję przyszłości. Myślenie komputacyjne jest rozszerzeniem na inne dziedziny kształtowanego na gruncie informatyki myślenia algorytmicznego, którego wymiernym efektem jest umiejętność programowania. Nabywanie umiejętności programowania jest skomplikowanym procesem, a jego złożoność implikuje wiele wyzwań dla metodyki nauczania. Zagadnienie to od wielu lat jest przedmiotem zainteresowania szerokiego grona badaczy (Pears i in., 2007; Salleh, Shukur, Judi, 2013).

Jedną z pierwszych umiejętności nabywanych przez początkujących programistów jest analiza algorytmów – ich odczytywanie i zapisywanie w postaci graficznej (schematów blokowych) oraz tzw. pseudokodu. Istotnym zagadnieniem na tym etapie jest więc odpowiedź na pytanie, jakie strategie nauczania w zakresie prezentowania algorytmów są skuteczniejsze – pseudokod czy schemat blokowy? Jak integracja (równoległe przedstawienie) tych dwóch form algorytmów oraz stosowanie wskazówek np. w postaci kolorowania elementów strukturalizujących (lub słów kluczowych) wpływa na proces uczenia się programowania? Pytania te wpisują się w nurt rozważań, które koncentrują się wokół problematyki wzbogacania materiałów edukacyjnych o wskazówki wizualne, których celem jest kierowanie uwagą wzrokową uczniów w procesie nauczania w celu jego optymalizacji.

Projektowanie efektywnych materiałów dydaktycznych jest kwestią kluczową w edukacji i wiąże się poszukiwaniem skutecznych sposobów komunikacji wizualnej, która ma miejsce w tym procesie. Środowisko uczenia się powinno być opracowywane z uwzględnieniem naturalnego mechanizmu selekcjonowania informacji przez ludzi, a uwaga uczniów powinna być skierowana na ważne elementy materiału dydaktycznego, tak aby zminimalizować wysiłek intelektualny związany z poszukiwaniem i integracją kluczowych informacji. Według kognitywnej teorii multimedialnego uczenia się obciążenie poznawcze materiałów dydaktycznych może być zredukowane dzięki integracji dwóch kanałów informacji wzrokowej i werbalnej (Mayer, Moreno, 2003, s. 43–52), ale również dwóch postaci informacji wzrokowej w formie tekstów i grafiki (por. Folker, Sichelschmidt, Ritter, 2005, s. 690–691).

Prowadzone od wielu lat badania potwierdzają, że edukacyjne materiały tekstowe wzbogacone grafiką lub animacjami, w których umieszczono dodatkowe wskazówki, pomagają w lepszym zrozumieniu treści prezentowanego zagadnienia (Mautone, Mayer, 2001; De Koning, Tabbers, Rikers, Paas, 2007). Jedną z form wskazówek są tzw. wskazówki typograficzne, do których należy np. krój pisma, stosowanie wytłuszczenia czy kolorowania tekstu. Ich obecność skutkuje koncentracją uwagi bezpośrednio na odpowiednich słowach, czyniąc te słowa i opisane z ich użyciem pojęcia wizualnie odróżniającymi się od innych. Dzięki temu sygnalizują osobie uczącej się, które elementy opisu są istotne, ułatwiając proces wyszukiwania określonych informacji i podejmowanie decyzji (Mautone, Mayer, 2001, s. 378).

Za kluczowy czynnik w projektowaniu materiałów edukacyjnych należy niewątpliwie uznać kolor. Jest to element, który bardzo skutecznie strukturalizuje informacje i tym samym zmniejsza wysiłek związany z wyszukiwaniem istotnych danych, wpływając na szybkość oraz kolejność ich odczytywania (Kalyuga, Chandler, Sweller, 1999, s. 336).

W ostatnich latach w badaniach nad efektywnością kierowania uwagą z zastosowaniem wskazówek wizualnych wykorzystuje się technikę okulografii. W eksperymentach tych najczęściej efektywność jest mierzona za pomocą wskaźników behawioralnych – testów rozumienia i zapamiętywania prezentowanych zagadnień oraz czasem wykonania zadania, przy czym uwzględnia się jednocześnie wpływ wiedzy bazowej na uzyskane wyniki.

Stosując technikę okulografii, Boucheix i Lowe (2010) badali różnice w procesie uczenia się w sytuacji sterowania uwagą uczniów za pomocą wskazówek w postaci strzałek lub zmiany intensywności koloru w istotnych punktach materiału dydaktycznego. Manipulacja kolorem skuteczniej kierowała uwagę uczących się na najważniejsze elementy animacji i badani w tym przypadku osiągnęli wyższy poziom zrozumienia nauczanych treści.

Z kolei wyniki eksperymentu, który prowadził Ozcelik, Karakus, Kursun i Cagiltay (2009, s. 449–451), potwierdziły skuteczność stosowania tych samych kodów kolorów w adekwatnych elementach tekstu i grafiki. Zabieg taki pomógł zintegrować badanym odpowiednie informacje w tekście i ilustracjach, co także skutkowało lepszym poziomem zrozumienia i zapamiętania materiału.

Doniesienia z badań eye trackingowych potwierdzają również, że wskazówki (w tym stosowanie kolorowania) organizujące proces czytania wspierają jego efektywność szczególnie w przypadku osób o niższym poziomie wiedzy lub umiejętności (Dylak, 2013, s. 52–54).

## **Metodologia badań**

### *Cel badań*

Celem przeprowadzonego eksperymentu było zbadanie, czy zastosowanie w prezentowanej treści zadania wskazówek w postaci kolorowania wybranych elementów lub wytłuszczenia czcionki (*boldface*) w celu kierowania uwagą ucznia na elementy istotne merytorycznie wpłynęło na efektywność rozwiązania zadania. W szczególności poszukiwano odpowiedzi na pytania, czy wprowadzenie wskazówek graficznych różnicuje istotnie:

- liczbę poprawnych rozwiązań zadania (wskaźnik behawioralny),
- ocenę poziomu trudności zadania (wskaźnik subiektywny),
- czas rozwiązywania zadań,
- wartości parametrów eye trackingowych, takich jak: średni czas fiksacji, częstotliwość fiksacji oraz liczba fiksacji.

Wybrane parametry aktywności wzrokowej, a w szczególności średni czas fiksacji, uznawane są za indykatory wysiłku umysłowego, a doniesienia badań wskazują na istnienie dodatniej korelacji pomiędzy parametrami fiksacji a efektywnością rozwiązywania zadań (odsetkiem poprawnych odpowiedzi) (Andrzejewska, Stolińska, 2016, s. 9).

Zaprojektowane w badaniach sceny wizualne miały charakter statyczny, niemniej zgodnie z zasadą wprowadzania wskazówek (*signaling principle*) (Mayer, 2010, s. 170; por. też Krejtz, Krejtz, Szarkowska, Kopacz, 2014, s. 84) zalecaną w procesie projektowania animacji (i szerzej materiałów multimedialnych) wskazówki te miały na celu jedynie ukierunkowanie procesu poznawczego osób badanych, a nie dostarczenie im nowych informacji (De Koning i in., 2007, s. 733).

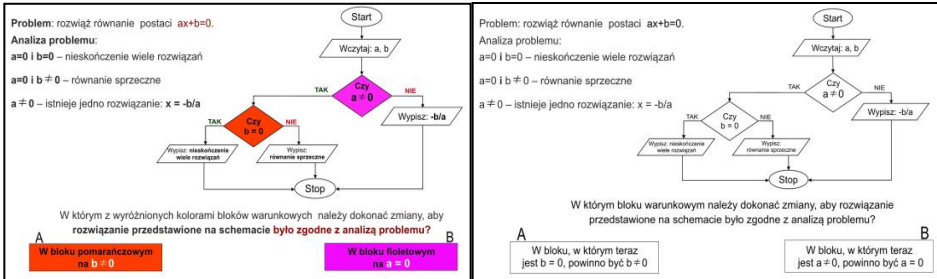
#### *Aparatura badawcza*

W badaniu zastosowano *eye tracker* firmy SensoMotoric Instruments iViewX™Hi-Speed500/1250 rejestrujący strumień danych z rozdzielczością czasową 500 Hz. Dostępna w tym systemie wygodna konstrukcja interfejsu pozwala na stabilne utrzymywanie głowy w bezruchu, bez ograniczania pola widzenia badanego. Podczas eksperymentu obrazy wizualne prezentowane były na monitorze LCD o przekątnej ekranu 23", z rozdzielczością Full HD 1920 x 1080. Przed każdym badaniem wykonywana była 9-punktowa kalibracja wraz z walidacją. W trakcie badania wszystkim osobom zapewniono jednakowe warunki otoczenia, takie jak temperatura, oświetlenie oraz izolacja akustyczna. Do zaprojektowania eksperymentu wykorzystano oprogramowanie Experiment Center™, wyniki opracowano z użyciem aplikacji BeGaze™ 3.7 firmy SensoMotoric Instruments.

#### *Uczestnicy badania i procedura*

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. Wzrok wszystkich badanych był normalny lub skorygowany do normalnego. Wszyscy uczniowie mieli w swojej edukacji szkolnej do czynienia z rozwiązywaniem zadań algorytmicznych, co potwierdził sondaż diagnostyczny przeprowadzony przed badaniem. W czasie trwania eksperymentu na kolejnych slajdach prezentowane były zadania, które uczniowie rozwiązywali bez użycia pomocy w postaci przyborów do pisania, i w trakcie tego procesu rejestrowano ich aktywność okoruchową. Następnie uczniowie wypełniali kwestionariusz, w którym z zastosowaniem 11-punktowej skali Likerta oceniali poziom trudności zadań. Omawiane w artykule i rozwiązywane przez badanych zadanie algorytmiczne przedstawiono na rysunku 1. Zaprojektowano dwie wersje zadania oznaczone odpowiednio: Z\_K – zadanie zawierające wskazówki (kolorowanie, wytluszczenie czcionki) oraz Z\_CZ – zadanie bez wskazówek (wersja czarno-biała). Zada-

nie wymagało prawidłowego przedstawienia za pomocą schematu blokowego rozwiązania równania liniowego postaci  $ax + b = 0$ . W poleceniu zawarta była analiza problemu, rozwiązanie sprowadzało się do weryfikacji poprawności warunków zapisanych we wskazanych blokach. Uczniowie wybierali jedną spośród dwóch odpowiedzi.



Rysunek 1. Dwie wersje zadania rozwiązywanego przez uczniów

Źródło: opracowanie własne.

### Wyniki badań i dyskusja

Efektywność rozwiązania zadania okazała się wyższa w przypadku zadania ze wskazówkami – odsetek poprawnych odpowiedzi wyniósł odpowiednio 67% dla  $Z\_K$  oraz 58% dla  $Z\_CZ$ . W teście chi-kwadrat ( $\chi^2 = 0,36$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,39$ ) różnica ta nie okazała się istotna. Jednocześnie zadanie to w opinii uczniów uznane zostało jako trudniejsze – poziom trudności oceniono odpowiednio dla  $Z\_K$  na 6,96, a dla  $Z\_CZ$  na 5,75. Różnica ta również, jak wynika z tabeli 1, nie okazała się istotna statystycznie. Otrzymane wyniki są zbieżne z rezultatami, jakie opisali w swoich doniesieniach Ozcelik i in. (2009, s. 449), którzy nie stwierdzili istotnych różnic w zakresie opinii o trudności wykonywanych zadań pomiędzy badanymi grupami, przy czym osoby, które pracowały z materiałem kolorowym, uzyskały lepsze wyniki w testach.

Tabela 1. Zróżnicowanie oceny poziomu trudności zadania – test t dla prób niezależnych

Zadanie	Z_K		Z_CZ		T	df	p
	Średnia	Odch. st.	Średnia	Odch. st.			
Ocena poziomu trudności zadania	6,96	2,60	5,75	3,10	1,47	46	0,15

Źródło: opracowanie własne.

Dane w tabeli 2 pokazują, że w przypadku zadania ze wskazówkami zarówno czas jego analizy, jak i liczba fiksacji miały wartości niższe od wartości analogicznych parametrów uzyskanych w przypadku zadania czarno-białego. Wartości średniego czasu fiksacji oraz częstotliwości fiksacji były bardzo zbliżone,

a test t dla dwóch prób niezależnych wykazał, że występujące różnice dla wszystkich wymienionych parametrów nie były istotne.

**Tabela 2. Zróżnicowanie wybranych parametrów eye trackingowych - test t dla prób niezależnych**

Typ zadania	Z_K		Z_CZ		T	Df	p
	Średnia	Odch. st.	Średnia	Odch. st.			
Czas (ms)	93 794	37 337	111 070	65 939	-1,12	46	0,27
Średni czas fiksacji (ms)	248,54	30,53	244,93	28,74	0,42	46	0,68
Częstotliwość fiksacji (liczba/s)	3,30	0,36	3,33	0,36	-0,28	46	0,78
Liczba fiksacji	308,29	122,28	364,96	209,07	-1,15	46	0,26

Źródło: opracowanie własne.

W świetle omawianych wyników można wnioskować, że badani nie doświadczyli większych trudności podczas analizowania planszy z zadaniem w wersji czarno-białej i tej, w której zastosowano kolorowe wskazówki. Nieznaczne skrócenie czasu wykonania, jak również wyższy odsetek odpowiedzi poprawnych (obiektywne kryterium behawioralne) w przypadku zadania ze wskazówkami potwierdzają pozytywny efekt kierowania uwagą wzrokową uczniów na kluczowe elementy planszy. Skrócenie czasu wykonania zadania z kolorowymi wskazówkami zaobserwowano także w badaniach Folker, Sichel-schmidta, i Ritter (2005, s. 694). W eksperymencie tym uzyskano również bardzo zbliżone wartości parametrów fiksacji (liczba fiksacji, skumulowany czas trwania fiksacji) w obu badanych grupach, przy czym wartości te były niższe w przypadku zadania kolorowego.

Należy przypuszczać, że brak istotnych różnic w zakresie parametrów fiksacji wynika z formy użytych wskazówek, które miały charakter „nieinwazyjny” i nie obciążały dodatkowo zasobów poznawczych badanych oraz nie zakłóciły procesu przetwarzania informacji wizualnej. Zdaniem badaczy zmiany w polu widzenia polegające na kolorowaniu czy wytluszczeniu tekstu należą bowiem do grupy tych wskazówek, które wywołują automatyczny odruch orientacyjny w ich kierunku (por. Ozcelik, Karakus, Kursun, Cagiltay, 2009, s. 446; Krejtz i in., 2014, s. 85).

## Podsumowanie

Analiza uzyskanych danych pozwoliła zaobserwować tylko nieznaczne skrócenie czasu wykonania oraz wyższy odsetek odpowiedzi poprawnych w przypadku zadania z kolorowymi wskazówkami. Nie stwierdzono także istotnych różnic w zakresie parametrów aktywności ruchu oczu związanych z fiksacjami oraz opinii uczniów o poziomie trudności zadania. Wyniki eksperymentu należy poddać dalszej, pogłębionej analizie – szczególnie interesujące wydają się dane okulograficzne odnoszące się do alokacji uwagi wzrokowej w tzw. obszarach zainteresowania (*area of interest* – AOI) związanych z elementami plan-

szy będącymi wskazówkami wizualnymi dla uczniów. W kontekście doniesień z badań, w których potwierdzono skuteczność dydaktyczną integracji tekstu i obrazu, strategia nauczania, w której jednocześnie prezentuje się algorytmy w formie kodu (tekstu języka programowania) i schematu blokowego z użyciem adekwatnego kolorowania, powinna być przedmiotem dalszych badań.

## Literatura

- Andrzejewska, M., Stolińska, A. (2016). Comparing the Difficulty of Tasks Using Eye Tracking Combined with Subjective and Behavioural Criteria. *Journal of Eye Movement Research*, 9 (3), 1–16. DOI: 10.16910/jemr.9.3.3.
- Boucheix, J.M., Lowe, R.K. (2010). An Eye-tracking Comparison of External Pointing Cues and Internal Continuous Cues in Learning with Complex Animations. *Learning and Instruction*, 20 (2), 123–135.
- Dylak, S. (2013). *Architektura wiedzy w szkole*. Warszawa: Difin.
- Folker, S., Sichelshmidt, L., Ritter, H. (2005). Processing and Integrating Multimodal Material – The Influence of Color-Coding. W: B.G. Bara, L. Barsalou, M. Bucciarelli (red.), *Proceedings of the 27<sup>th</sup> Annual Conference of the Cognitive Science Society* (s. 690–695). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Sweller, J. (1999). Managing Split-attention and Redundancy in Multimedia Instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 351–371.
- Koning De, B.B., Tabbers, H.K., Rikers, R.M.J.P., Paas, F. (2007). Attention Cueing as a Means to Enhance Learning from an Animation. *Applied Cognitive Psychology*, 21, 731–746.
- Krejtz, K., Krejtz, I., Szarkowska, A., Kopacz, A. (2014). Multimedia w edukacji. Potencjał audiodeskrypcji w kierowaniu uwagą wzrokową ucznia. *Przekładaniec*, 28, 80–92.
- Mayer, R.E. (2010). Unique Contributions of Eye-tracking Research to the Study of Learning with Graphics. *Learning and Instruction*, 20, 167–171.
- Mayer, R.E., Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 43–52
- Mautone, P.D., Mayer, R.E. (2001). Signaling as a Cognitive Guide in Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology*, 93, 377–389.
- Ozcelik, E., Karakus, T., Kursun, E., Cagiltay, K. (2009). An Eye-tracking Study of How Color Coding Affects Multimedia Learning. *Computers & Education*, 53, 445–453.
- Pears, A., Seidman, S., Malmi, L., Mannila, L., Adams, E., Bennedsen, J., Devlin, M., Paterson, J. (2007). A Survey of Literature on the Teaching of Introductory Programming. *SIGCSE Bulletin*, 39 (4), 204–223.
- Salleh, S.M., Shukur, Z., Judi, H.M. (2013). *Analysis of Research in Programming Teaching Tools: An Initial Review*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 103 (26), 127–135.