



BOŻENA ROŻEK¹, ROMAN ROSIEK²

Analiza parametrów okulograficznych zarejestrowanych podczas percepcji rysunków w sytuacjach zadaniowych

Analysis of Eye Tracking Parameters Measured During Perception of Illustrations in Task-solving Contexts

¹ Doktor, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, Instytut Matematyki, Polska

² Doktor habilitowany profesor UP, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, Instytut Fizyki, Polska

Streszczenie

W artykule przedstawiono fragment badań przeprowadzonych metodą eye-trackingową. Okulografia jest zbiorem metod i technik badawczych polegających na rejestracji i analizie ruchu gałek ocznych, co umożliwia dotarcie do różnych aspektów i szerszy opis procesów poznawczych człowieka. Celem badań było poszukiwanie parametrów okulograficznych charakteryzujących procesy percepcji uczniów podczas rozwiązywania zadania wymagającego analizy rysunku. Zaprezentowano analizę materiału badawczego zgromadzonego podczas percepcji tego samego rysunku w dwóch różnych sytuacjach zadaniowych. Wyniki badań wskazują, iż podczas krótkiego czasu przeznaczonego na ekspozycję i analizę dwóch następujących po sobie slajdów badani wykorzystują przechowywany w pamięci operacyjnej obraz analizowanej figury.

Słowa kluczowe: kognitywistyka, eye-tracking, percepcja obrazu, pamięć krótkotrwała

Abstract

This article describes a part of a eye-tracking study. Eye tracking is a collection of research methods and techniques used for the measurement and analysis of eyemovement which allow for the analysis of various aspects of human cognitive processes. The aim of the study was to acquire eye tracking parameters related to the memory processes of the subjects during solving a task which required the analysis of an illustration. Analysis of the research material gathered during the perception of the same illustration in two different task-solving situations in the article is presented. The results of the study clearly show that during the short amount of time needed for the analysis of two consecutive slides, the brain is capable of storing the image of the analyzed shape in the working memory.

Keywords: cognitive science, eye tracking research, image perception, working memory

Wstęp

Eye-tracking z powodzeniem stosuje się w wielu dziedzinach nauki do rejestracji procesów analizy bodźców wizualnych, co umożliwia nam wnioskowanie dotyczące procesów myślowych, śledzenie zachowań ludzi w celu poznawania działania struktur poznawczych człowieka. „Ruchy oczu odzwierciedlają zarówno właściwości wizualne świata, jak i procesy myślowe człowieka, balansując pomiędzy jego percepcją a poznaniem. Ruchy oczu mogą dostarczyć naukowcom źródła danych dotyczące dynamiki procesów psychologicznych, które doprowadziły do podania odpowiedzi, wykonania działania lub podjęcia decyzji” (Pilipczuk, 2014, s. 323).

Podstawy działania wzroku

Dokonując rejestracji i analizy ruchów oka w czasie oglądania obrazu, dowiadujemy się, że przemieszczanie się źrenicy nie odbywa się w taki sposób, by śledzić obwód konturu obserwowanego przedmiotu. Oko wykonuje ruchy sakkadyczne przerywane fiksacjami w obszarach, które badany uznaje za istotne. W miarę rejestracji tych ruchów, nakładania się poszczególnych ruchów sakkadycznych na siebie, można zauważyć pewne prawidłowości. Demidow (1989, s. 72) pisze: „maksimum uwagi przyciągają znaczące ośrodki wyobrażenia. Takim ośrodkiem obrazu bywa człowiek albo zwierzę (...) twarze ludzi znaczą dla nas więcej niż postacie, postacie więcej od szczegółów wyposażenia, środowiska”. Ruch oczu bezsprzecznie odzwierciedla pracę mózgu. Demidow (1989) opisuje m.in. badania Jarbusa, który zwrócił uwagę, że desenie linii na papierze światłoczułym pokazujące „wędrówkę” oka w czasie oglądania obrazu były różne w zależności od nastawienia wywołanego odpowiednim kontekstem. Przykładowo ruchy sakkadyczne oczu szachisty są różne w zależności od różnego nastawienia – inne, gdy należy znaleźć rozwiązanie, a inne, gdy należy ocenić położenie i określić, która pozycja jest silniejsza.

Fizjologowie twierdzą, że zakrzywione części konturu przedmiotu są fragmentami informacyjnie nośnymi. Dlatego dla człowieka rozpoznającego obrazy przedstawiane za pomocą linii prostych tworzących ostre kontury te obszary wydają się bardziej istotne. „Punkty maksymalnej krzywizny i przecięcia konturów, owe maksima funkcji informacyjnej, mówią nam o sprawach fundamentalnych: o rozmieszczeniu przedmiotów w przestrzeni. (...) W punktach przecięcia – węzłach – mogą schodzić się dwie, trzy i więcej linii. (...) Węzły są jedną z ważniejszych cech głębi przestrzennej. Np. węzeł typu «L» mówi, że rozdzielane przez niego powierzchnie należą najpewniej do różnych przedmiotów” (Demidow, 1989, s. 74–75).

Wzrok „zatrzymuje” się tylko na niektórych fragmentach obrazu, optymalizując procesy percepcji próbujemy poszukiwać właśnie „maksimów” informacji. Demidow (1989, s. 80) pisze: „Skoki oczu stanowią przystosowanie ograniczo-

nej pojemności organu wzrokowego do niesłychanego nasycenia informacyjnego otaczającego nas świata. Nie oznacza to jednak, że nie widzimy fragmentów obrazu, na których wzrok się nie zatrzymuje. (...) Mózg, wszystko na to wskazuje, odtwarza i uzupełnia je, wykorzystując miliony obrazów, które przeszły przed oczami i odłożyły się, chociaż nieświadomie, w pamięci. Im obszerniejszy jest magazyn naszych zasobów wrażeń wzrokowych, tym pełniej odbieramy nowe wrażenia, z którymi spotyka się oko, tym większe są nasze możliwości widzenia”.

Podsumowując, to, co postrzegamy, jest czymś innym niż to, na co patrzymy. Ruch oczu odzwierciedla pracę mózgu, dlatego też analizując parametry okulograficzne zarejestrowane w badaniach eye-trackingowych, możemy wzbogacać swoją wiedzę na temat struktur poznawczych umysłu. Wydaje się mocno uzasadnione zastosowanie tej metody w diagnozowaniu procesu rozwiązywania problemów związanych z analizą grafiki, schematów, wykresów tak powszechnych i niezbędnych w matematyce i fizyce.

Metodologia badań

Eye-tracking, w języku polskim określany jako *okulografia*, jak już wspomniano wcześniej, jest zbiorem metod i technik badawczych przeznaczonych do pomiaru, rejestracji i analizy danych o położeniu i ruchach gałek ocznych w danym przedziale czasowym. Zastosowanie tej metodologii umożliwia nam dotarcie do szerokiego spektrum rozmaitych aspektów związanych z procesami poznawczymi i pozwala nam jeszcze lepiej poznać reguły związane z przetwarzaniem informacji przez człowieka.

Technologie eye-trackingu można skutecznie zastosować podczas projektowania i analizy struktur graficznych, przede wszystkim w obszarze projektowania i optymalizacji materiałów dydaktycznych. Prezentowane w artykule badania zostały przeprowadzone przez Grupę Badawczą Dydaktyki Kognitywnej w Uniwersytecie Pedagogicznym w Krakowie. Rejestracja ruchu gałki ocznej odbywała się za pomocą stacjonarnego eye-trackera SMI oraz oprogramowania iViewX™. Strumień danych rejestrowany był z częstotliwością 500 Hz, a do analizy uzyskanych danych wykorzystano oprogramowanie SMI BeGaze.

W badaniu wzięło udział 53 uczniów krakowskich gimnazjów, wśród których było 18 laureatów konkursów fizycznych. Badanie składało się z trzech etapów: w pierwszym i trzecim etapie uczniowie wypełniali ankietę, w drugim rozwiązywali serię zadań z zakresu fizyki, matematyki, informatyki i biologii – ten etap badań był rejestrowany eye-trackerem.

Celem badań było poszukiwanie parametrów okulograficznych, które charakteryzowałyby proces percepcji powtarzającego się po paru minutach tego samego obrazu oraz powtarzającego się fragmentu tekstu. W artykule zostanie omówione jedno z zadań matematycznych, które składało się z dwóch części.

Rozwiązując zadanie, należało wskazać wszystkie prawidłowe odpowiedzi. W pierwszej części zadania¹ pytano, z ilu zapalek będzie zbudowana siódma figura. Slajd I ukazujący się badanym na monitorze komputera był następujący (rys. 1):

Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi do zadania.
Może być więcej niż jedna poprawna odpowiedź.

Kolejne figury zbudowano z zapalek zgodnie z pewną regułą.



Z ilu zapalek będzie zbudowana siódma figura?

A.

$$2 \cdot 7 + 7$$

B.

22

C.

16

D.

$$2 \cdot 7 + 8$$

Rysunek 1. Slajd I

Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi do zadania.
Może być więcej niż jedna poprawna odpowiedź.

Kolejne figury zbudowano z zapalek zgodnie z pewną regułą.



Które działanie opisuje liczbę zapalek dziesiątej figury?

A.

$$10 \cdot 4$$

bo będzie

10 kwadratów

po 4 boki

B.

$$10 \cdot 4 - 9$$

bo będzie

10 kwadratów

po 4 boki,

odjąć 9 łych,

które się powtórzą

C.

$$2 \cdot 10 + 11$$

bo będą 2 pionowe

boki prostokąta,

każdy po 10,

dodać 11 poziomych

zapalek

D.

$$2 \cdot 10 + 10$$

bo będą 2 pionowe

boki prostokąta,

każdy po 10,

dodać 10 poziomych

zapalek

Rysunek 2. Slajd II

Źródło: opracowanie własne.

W drugiej części zadania pytano badanych, z ilu zapalek złożona będzie dziesiąta figura (rys. 2).

Badani podczas wyboru odpowiedzi nie mieli możliwości wykonywania pisemnych obliczeń oraz rysowania. Ich zadaniem było poprzez analizę wzrokową treści zadania i rysunku wskazanie przez kliknięcie myszką odpowiedzi uznanych przez nich za poprawne. Tematem prowadzonych tu analiz wybranych wyników badań nie będą rozważania dotyczące poprawności podanych przez uczniów odpowiedzi. Głównym celem będzie porównanie zarejestrowanych istotnych parametrów okulograficznych podczas percepcji dwóch identycznych obrazów tzw. drabinek pojawiających się na pierwszym i drugim slajdzie. Pytanie badawcze, na które odpowiedzi będziemy poszukiwać, jest następujące: Czy parametry okulograficzne rejestrowane podczas analizy wzrokowej rysunku na pierwszym slajdzie są podobne czy też istotnie różne od analogicznych parametrów zarejestrowanych podczas ponownego obserwowania tego samego rysunku w drugiej części zadania?

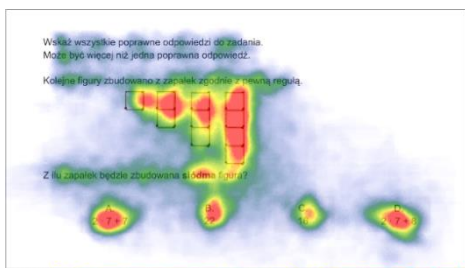
Wyniki i analiza badań

Mapę cieplną dla pierwszego slajdu, uwzględniającą wszystkich badanych, przedstawiono na rysunku 3, a mapę cieplną dla slajdu drugiego – na rysunku 4.

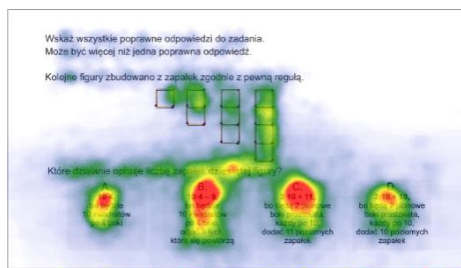
Na rysunku 3 pokazano, że na pierwszym slajdzie wzrok badanych skupiony jest głównie na obszarach zawierających grafikę, czyli na rysunku, oraz polach z odpowiedziami. Na drugim slajdzie pojawia się ten sam kształt „drabin” uło-

¹ Częściowa analiza wyników badań dotycząca pierwszej części zadania była prezentowana w artykule (Rożek i in., 2015).

zonych z zapalek, choć sytuacja zadaniowa jest o wiele bardziej skomplikowana. Porównując obie mapy ciepłne, widać wyraźnie, że czasy fiksacji wzroku badanych na obszarze zawierającym rysunek na drugim slajdzie po upływie pewnego krótkiego czasu są o wiele mniejsze, nie ma widocznych czerwonych obszarów oznaczających miejsca, dla których liczba oraz sumaryczny czas fiksacji jest największy. Wyniki te wskazują, że umysł, przetwarzając informacje zawarte na rysunku podczas oglądania slajdu pierwszego, zachowuje w pamięci krótkotrwałej strukturę i elementy rysunku, badany nie musi tak intensywnie posiłkować się kolejnym wzrokowym przetwarzaniem tego obrazu, mimo że rozwiązywany problem jest znacznie trudniejszy.



Rysunek 3. Heat Map-All – slajd I

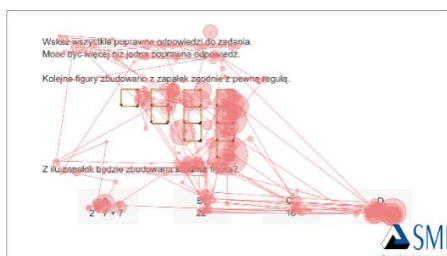


Rysunek 4. Heat Map-All – slajd II

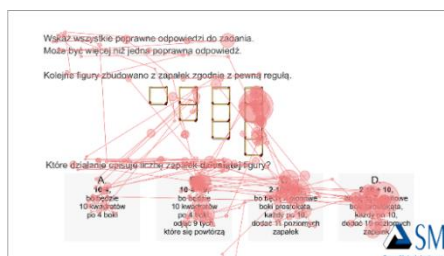
Źródło: opracowanie własne.

Analiza map ciepłnych w obrębie powtórnego tekstu na slajdzie I i II, czyli treści zadania, także wskazuje na podobne wyniki – czytanie tego samego tekstu na slajdzie II ukazuje fakt skrócenia czasu analizy tych obszarów.

Podobne wnioski można wysunąć, zestawiając ścieżki analizy wzrokowej dotyczące slajdu I i II dla pojedynczych osób. Poniżej przedstawiamy przykładowe zapisy Scan Path dla dwóch wybranych osób zarejestrowane podczas rozwiązywania pierwszej i drugiej części zadania. Na rysunkach 5 i 6 ukazano przebieg ścieżki wzrokowej osoby (oznaczonej jako P40), która obydwu zadania rozwiązuje poprawnie:



Rysunek 5. Scan Path P40 – slajd I

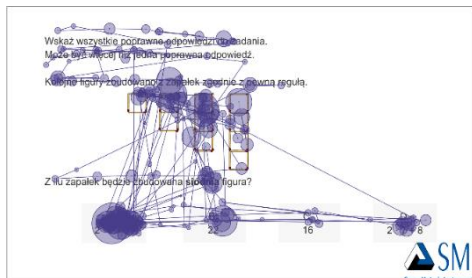


Rysunek 6. Scan Path P40 – slajd II

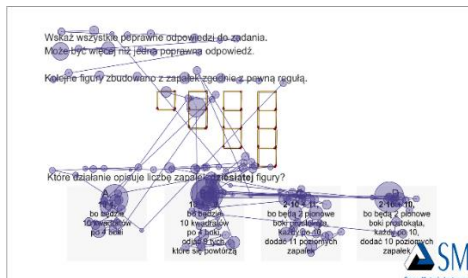
Źródło: opracowanie własne.

Badany wskazał po dwie poprawne odpowiedzi zarówno dla zadania ze slajdu I (odp. B i D), jak i ze slajdu II (odp. B i C).

Na rysunkach 7 i 8 pokazano zapisy Scan Path osoby (oznaczonej jako P18), której rozwiązanie było błędne.



Rysunek 7. Scan Path P18 – slajd I



Rysunek 8. Scan Path P18 – slajd II

Źródło: opracowanie własne.

Osoba ta wskazała na slajdzie I błędną odpowiedź A, a na slajdzie II podała niepełne rozwiązanie, wskazując tylko jedną dobrą odpowiedź B z dwóch poprawnych.

Analiza powyższych rysunków wyraźnie pokazuje, że „ścieżka wzroku” rozumiana jako zapisy Scan Path, przebiegająca przez treść polecenia oraz rysunek, na pierwszym slajdzie jest „gęstsza”, a czasy fiksacji znacznie dłuższe (koła ilustrujące czas fiksacji mają widocznie większe średnice) w stosunku do „ścieżki wzroku” na slajdzie II. Analiza tych obszarów u wszystkich badanych uczniów wskazuje na stałą tendencję – liczba i czas fiksacji na powtarzających się polach tekstowym i graficznym na slajdzie II wyraźnie maleje. Istotny jest fakt, że obserwacja ta dotyczy zarówno badanych podających poprawne rozwiązania, jak i tych, u których rozwiązania są niepełne, a nawet błędne.

Dla slajdu I i II wyznaczono takie same obszary zainteresowań (AOI) obejmujące:

- tekst zadania nad rysunkiem (powtarzający się na slajdzie II),
- rysunek (powtarzający się na slajdzie II),
- tekst zadania pod rysunkiem,
- pola z odpowiedziami.

Dla zdefiniowanych pól wygenerowano dane statystyczne KPI (*Key Performance Indicators*) dla slajdu I oraz slajdu II. Na podstawie KPI dla każdego slajdu kolejno poddano analizie trzy parametry okulograficzne: *dwelltime*, *averagefixation*, *fixationcount*.

W tabelach 1 i 2 zestawiono wybrane parametry istotne z punktu prowadzonych analiz.

Tabela 1. Zestawienie dla slajdu I

Slajd I	Rysunek	Tekst
<i>Dwelltime</i>	47,9 %	27,3%
<i>Averagefixation</i>	364,2 ms	994,2 ms
<i>Fixationcount</i>	100	84

Tabela 2. Zestawienie dla slajdu II

Slajd II	Rysunek	Tekst
<i>Dwelltime</i>	15,2%	8,2%
<i>Averagefixation</i>	279,8 ms	364,2 ms
<i>Fixationcount</i>	38	24

Źródło: opracowanie własne.

Porównanie danych w tabelach ukazuje różnicę pomiędzy średnim czasem przebywania wzroku badanych na takich samych obiektach tekstowych i graficznych. Średni czas trwania fiksacji na rysunku i na tekście jest trzykrotnie dłuższy na slajdzie I niż na powtórzonych tych samych obiektach na slajdzie II. Podobnie w zakresie liczby fiksacji można zauważyć analogiczną zależność. Średni czas trwania fiksacji także jest znacznie krótszy podczas powtórnego obserwowania omawianych pól.

Podsumowanie

Wyniki badań wyraźnie pokazują, iż przy powtórznej analizie tego samego rysunku, również tekstu, nawet przy bardziej złożonym zadaniu do rozwiązania znacznie skraca się czas przebywania wzroku badanych w tym obszarze (*dwelltime*), maleje liczba fiksacji (*fixationcount*). Na podstawie analizy kilku parametrów okulograficznych sugerujących podobne wnioski możemy przypuszczać, że w celu rozwiązania problemu oprócz bezpośredniej percepcji powtarzających się obiektów zostają uruchomione inne, dodatkowe mechanizmy, np. przechowywanie, odtworzenie struktury tekstowej i graficznej w obszarze pamięci roboczej. Istotnym wnioskiem jest fakt, iż tendencje te dotyczą różnych grup badanych osób: zarówno tych, które podawały rozwiązania poprawne, a także tych, których rozwiązania były niepełne, a nawet błędne. Analiza zarejestrowanych podczas badań parametrów okulograficznych wskazuje na pewne cechy i właściwości umysłu w zakresie powtórnego postrzegania obiektów graficznych w krótkim odstępie czasowym.

Analiza literatury dotyczącej tych zagadnień wskazuje, iż „przetwarzanie obrazu (...) zależy nie tylko od tego, co widzimy teraz, ale też od tego, co widzieliśmy wcześniej!” (Biecek, 2014, s. 50). Ponadto okazuje się, że miejscem przechowywania informacji są dokładnie te same części mózgu, które odpowiadają za ich przyjmowanie i przetwarzanie: „Przy pamięci krótkookresowej poznajemy kilka mechanizmów utrzymywania informacji w mózgu. W strefach sensorycznych i asocjacyjnych zostały zidentyfikowane neurony opóźniające, które przechowują informację przez pewien czas, jeżeli są aktywnie pobudzane w powtarzalny sposób. Dzieje się tak dlatego, że jeden impuls wzbudza w nich powtarzaną odpowiedź, albo chodzi tu o obwód złożony z wielu neuronów, które w obwodzie przemiennie się aktywizują” (Petlák, Zajcová, 2010, s. 92).

W badaniach prowadzonych przez Kosslyna okazało się, iż u osób obserwujących określony obiekt aktywują się te same fragmenty mózgu, co wtedy, gdy poproszono te osoby o wyobrażenie sobie tego obiektu: „Oznacza to, że zasoby pamięci oraz wrażenia z bezpośredniego postrzegania są procesami, które angażują to samo miejsce kory mózgowej. (...) Wielu neurobiologów twierdzi, że w najbardziej ogólnym sensie postrzeganie jakiegoś obiektu jest w zasadzie tym samym, co jego przypominanie” (Kaczmarzyk, 2017, s. 113).

Na bazie przeprowadzonych badań empirycznych z użyciem eye-trackera oraz przytoczonych podstaw teoretycznych nasuwają się następujące implikacje w zakresie nauczania. Warto w obrębie jednego obiektu, np. rysunku, formułować wiele problemów, jak gdyby nie „marnując” zasobów umysłowych, nie generując zwiększonego obciążenia poznawczego na analizę nowych obiektów rysunkowych będących nośnikami istotnych informacji.

Literatura

- Biecek, P. (2014). *Odkrywać! Ujawniać! Objasniać! Zbiór esejów o sztuce prezentowania danych*. Warszawa: Fundacja Naukowa SmarterPoland.pl.
- Demidow, W. (1989). *Patrzyć i widzieć*. Warszawa: Wyd. Czasopism i Książek Technicznych NOT-SIGMA.
- Kaczmarzyk, M. (2017). *Szkoła neuronów*. Słupsk: Dobra Literatura.
- Młodkowski, J. (2008). *Aktywność wizualna człowieka*. Warszawa: PWN.
- Petlák, E., Zajcová, J. (2010). *Rola mózgu w uczeniu się*. Kraków: Petrus.
- Pilipczuk, O. (2014). Technologie eye-tracking w analizie danych medycznych. *Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych/Szkoła Główna Handlowa*, 35, 323–337.
- Rożek, B. (2014). Wykorzystanie badań eye-trackingowych do analizy procesu rozwiązywania procesu rozwiązywania testowego zadania matematycznego jednokrotnego wyboru. *Edukacja – Technika – Informatyka*, 5(2), 384–390.
- Rożek, B., Błasiak, W., Andrzejewska, M., Godlewska, M., Kazubowski, P., Rosiek, R., Sajka, M., Stolińska, A., Wcisło, D. (2015). Neurodydaktyczne aspekty procesu rozwiązywania testowego zadania matematycznego w oparciu o badania eyetrackingowe. *Edukacja – Technika – Informatyka*, 3, 202–208.