



**Politechnika
Śląska**

PROJEKT INŻYNIERSKI

System wizyjny do śledzenia ruchu gałek ocznych

Bartosz WUWER

Nr albumu: 296949

Kierunek: Automatyka i Robotyka

Specjalność: Technologie informacyjne w automatyce i robotyce

PROWADZĄCY PRACĘ

Dr inż. Krzysztof Jaskot

KATEDRA Automatyki i Robotyki

Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki

Gliwice 2025

Tytuł pracy

System wizyjny do śledzenia ruchu gałek ocznych

Streszczenie

(Streszczenie pracy – odpowiednie pole w systemie APD powinno zawierać kopię tego streszczenia.)

Słowa kluczowe

(2-5 słów (fraz) kluczowych, oddzielonych przecinkami)

Thesis title

Vision system for tracking the movement of the eyeballs

Abstract

(Thesis abstract – to be copied into an appropriate field during an electronic submission – in English.)

Key words

(2-5 keywords, separated by commas)

Spis treści

1	Wstęp	1
2	[Analiza tematu]	5
3	Wymagania i narzędzia	7
4	[Właściwy dla kierunku – np. Specyfikacja zewnętrzna]	9
5	[Właściwy dla kierunku – np. Specyfikacja wewnętrzna]	11
6	Weryfikacja i walidacja	13
7	Podsumowanie i wnioski	15
	Bibliografia	17
	Spis skrótów i symboli	21
	Źródła	23
	Lista dodatkowych plików, uzupełniających tekst pracy	25
	Spis rysunków	27
	Spis tabel	29

Rozdział 1

Wstęp

Śledzenie ruchu gałek ocznych (ang. eye-tracking) jest kluczową metodą badawczą, ponieważ umożliwia analizę mechanizmów percepcji i uwagi. W naturalnym procesie widzenia nasze oczy poruszają się, aby skierować centralny punkt spojrzenia, czyli obszar o najwyższej rozdzielczości w polu widzenia, na interesujący nas obiekt lub region. Najczęściej proces ten jest sprzężony z uwagą – przenosimy koncentrację na dany punkt, co pozwala nam dokładniej analizować jego szczegóły, nawet jeśli trwa to zaledwie ułamek sekundy.

Zdolność do rejestrowania ruchu oczu otwiera drzwi do zrozumienia sposobu, w jaki obserwator eksploruje otaczający świat. Analiza trajektorii spojrzenia może dostarczyć informacji o tym, co zwróciło uwagę obserwatora, co uznał za interesujące lub istotne. Dzięki temu możemy lepiej zrozumieć, jak osoba postrzega oglądane sceny czy obiekty, a także uzyskać wgląd w jej procesy poznawcze i emocjonalne.

Eye-tracking, czyli technologia śledzenia ruchów gałek ocznych, odgrywa kluczową rolę w wielu dziedzinach, takich jak psychologia poznawcza, marketing, badania UX, czy medycyna. W psychologii i neurobiologii pozwala na badanie procesów poznawczych, takich jak uwaga, percepcja czy procesy podejmowania decyzji. W marketingu eye-tracking umożliwia analizę zachowań konsumentów, wspierając tworzenie bardziej efektywnych kampanii reklamowych oraz optymalizację układu treści wizualnych. Z kolei w badaniach użyteczności (UX) pomaga projektantom zrozumieć, jak użytkownicy wchodzi w interakcję z aplikacjami i stronami internetowymi, co przekłada się na bardziej intuicyjne i przyjazne interfejsy. W medycynie eye-tracking jest wykorzystywany do diagnozowania i monitorowania zaburzeń neurologicznych, takich jak stwardnienie rozsiane, czy zaburzenia ze spektrum autyzmu.

Jednak analiza danych zebranych podczas eksperymentów eye-trackingowych niesie za sobą liczne wyzwania. Są one związane nie tylko z przetwarzaniem dużych ilości danych, ale także z ich wizualizacją w sposób, który wspiera interpretację wyników. Brak standardowych metod integracji i wizualizacji danych prowadzi do konieczności tworzenia dedykowanych narzędzi, które są dostosowane do specyfiki konkretnego projektu badaw-

czego.

Pomimo postępów w technologii eye-tracking, brakuje rozwiązań pozwalających na efektywną i łatwą w interpretacji wizualizację ruchów oczu w czasie rzeczywistym oraz ich przetwarzanie w kontekście analizy zachowań użytkowników. Istniejące narzędzia często są albo zbyt ogólne, albo wymagają zaawansowanej wiedzy technicznej, co ogranicza ich zastosowanie w praktyce.

Celem niniejszej pracy inżynierskiej jest opracowanie i wdrożenie narzędzia do przetwarzania i wizualizacji danych eye-trackingowych. Rozwiązanie to pozwoli na intuicyjną analizę danych, ułatwiając interpretację wyników oraz wspierając decyzje badawcze i projektowe. Poprzez implementację odpowiednich algorytmów oraz technik wizualizacyjnych, praca przyczyni się do zniwelowania barier w wykorzystaniu eye-tracking w różnych dziedzinach.

Śledzenie ruchu gałek ocznych (ang. eye-tracking), zwane również jako okulografia, jest techniką która badana jest od ponad stu lat. Istotność tej techniki wynika z faktu, że ruchy gałek ocznych są ściśle związane z procesami poznawczymi, takimi jak uwaga, percepcja, pamięć, czy procesy decyzyjne. Skupiając wzrok na danym punkcie, umieszczamy go w centralnym obszarze naszego pola widzenia które charakteryzuje się największą rozdzielczością, co pozwala na dokładne analizowanie szczegółów. Ten fakt wpływa także na proces skupienia - gdy koncentrujemy się na danym obiekcie lub obszarze skupiamy na nim wzrok (często wystarczy jedynie krótki moment).

Możliwość rejestrowania ruchów oczu pozwala na zrozumienie w jaki sposób obserwator eksploruje otaczający go świat. Posiadając tą wiedzę możliwe jest wyciągnięcie wniosków na temat tego co jest interesujące lub istotne dla obserwatora, jakie emocje wzbudza w nim to co widzi, czy nawet jakie procesy poznawcze zachodzą w jego umyśle, czy rozumie on to co widzi. Nie trudnym jest zauważyć jak cenne mogą być te informacje w szerokim spektrum dziedzin.

Okulografia odgrywa kluczową rolę w psychologii poznawczej, psychologii społecznej, neurobiologii, marketingu, czy medycynie. W psychologii poznawczej ruch oczu jest ściśle związany z pamięcią, podejmowaniem decyzji, obciążeniem poznawczym i uczeniem się asocjacyjnym. W psychologii społecznej, eye-tracking pozwala na wgląd w zachowania społeczne i ich analizę, co pozwala badać empatię, prospołeczność, czy fobie społeczne [9]. W neurobiologii bada się powiązania ruchu oczu z szlakami neuronowymi odpowiedzialnymi za podejmowane akcje i procesy myślowe, dając możliwość w diagnozach i wsparciu osób dotkniętych chorobą Parkinsona [3], Alzheimer [2] a także autyzmem czy łagodnym upośledzeniem funkcji poznawczych [8]. W medycynie okulografia pozwala na diagnozę między innymi oczopląsu, który może być objawem np. stwardnienia rozsianego, uszkodzenia śródmózgowia lub urazu ucha wewnętrznego [1]. Niezaprzeczalnie technika ta jest niezwykle cenna i efektywna na wielu płaszczyznach naukowych i praktycznych.

- wprowadzenie w problem/zagadnienie

- osadzenie problemu w dziedzinie
- cel pracy
- zakres pracy
- zwięzła charakterystyka rozdziałów
- jednoznaczne określenie wkładu autora, w przypadku prac wieloosobowych – tabela z autorstwem poszczególnych elementów pracy

Rozdział 2

[Analiza tematu]

- sformułowanie problemu
- osadzenie tematu w kontekście aktualnego stanu wiedzy (*state of the art*) o poruszonym problemie
- studia literaturowe [6, 7, 5, 4] - opis znanych rozwiązań (także opisanych naukowo, jeżeli problem jest poruszany w publikacjach naukowych), algorytmów,

Wzory

$$y = \frac{\partial x}{\partial t} \tag{2.1}$$

jak i pojedyncze symbole x i y składa się w trybie matematycznym.

Rozdział 3

Wymagania i narzędzia

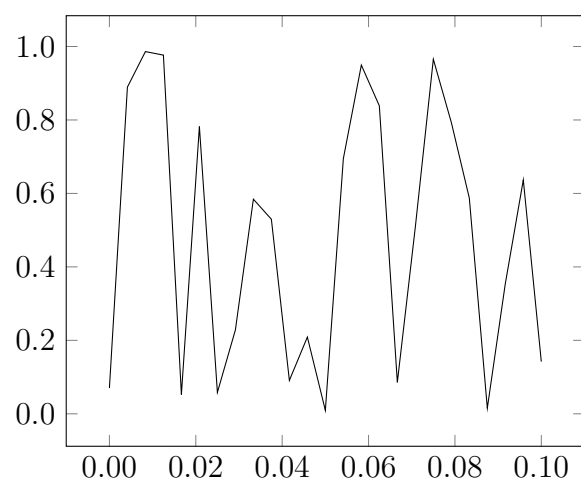
- wymagania funkcjonalne i нефункционалне
- przypadki użycia (diagramy UML) – dla prac, w których mają zastosowanie
- opis narzędzi, metod eksperymentalnych, metod modelowania itp.
- metodyka pracy nad projektowaniem i implementacją – dla prac, w których ma to zastosowanie

Rozdział 4

[Właściwy dla kierunku – np. Specyfikacja zewnętrzna]

Jeśli „Specyfikacja zewnętrzna”:

- wymagania sprzętowe i programowe
- sposób instalacji
- sposób aktywacji
- kategorie użytkowników
- sposób obsługi
- administracja systemem
- kwestie bezpieczeństwa
- przykład działania
- scenariusze korzystania z systemu (ilustrowane zrzutami z ekranu lub generowanymi dokumentami)



Rysunek 4.1: Podpis rysunku po rysunkiem.

Rozdział 5

[Właściwy dla kierunku – np. Specyfikacja wewnętrzna]

Jeśli „Specyfikacja wewnętrzna”:

- przedstawienie idei
- architektura systemu
- opis struktur danych (i organizacji baz danych)
- komponenty, moduły, biblioteki, przegląd ważniejszych klas (jeśli występują)
- przegląd ważniejszych algorytmów (jeśli występują)
- szczegóły implementacji wybranych fragmentów, zastosowane wzorce projektowe
- diagramy UML

Krótką wstawka kodu w linii tekstu jest możliwa, np. **int a;** (biblioteka `listings`). Dłuższe fragmenty lepiej jest umieszczać jako rysunek, np. kod na rys 5.1, a naprawdę długie fragmenty – w załączniku.

```
1 class test : public basic
2 {
3     public:
4         test (int a);
5         friend std::ostream operator<<(std::ostream & s,
6                                         const test & t);
7     protected:
8         int _a;
9
10 };
```

Rysunek 5.1: Pseudokod w `listings`.

Rozdział 6

Weryfikacja i walidacja

- sposób testowania w ramach pracy (np. odniesienie do modelu V)
- organizacja eksperymentów
- przypadki testowe zakres testowania (pełny/niepełny)
- wykryte i usunięte błędy
- opcjonalnie wyniki badań eksperymentalnych

Tabela 6.1: Nagłówek tabeli jest nad tabelą.

ζ	metoda						
	alg. 1	alg. 2	alg. 3			alg. 4, $\gamma = 2$	
			$\alpha = 1.5$	$\alpha = 2$	$\alpha = 3$	$\beta = 0.1$	$\beta = -0.1$
0	8.3250	1.45305	7.5791	14.8517	20.0028	1.16396	1.1365
5	0.6111	2.27126	6.9952	13.8560	18.6064	1.18659	1.1630
10	11.6126	2.69218	6.2520	12.5202	16.8278	1.23180	1.2045
15	0.5665	2.95046	5.7753	11.4588	15.4837	1.25131	1.2614
20	15.8728	3.07225	5.3071	10.3935	13.8738	1.25307	1.2217
25	0.9791	3.19034	5.4575	9.9533	13.0721	1.27104	1.2640
30	2.0228	3.27474	5.7461	9.7164	12.2637	1.33404	1.3209
35	13.4210	3.36086	6.6735	10.0442	12.0270	1.35385	1.3059
40	13.2226	3.36420	7.7248	10.4495	12.0379	1.34919	1.2768
45	12.8445	3.47436	8.5539	10.8552	12.2773	1.42303	1.4362
50	12.9245	3.58228	9.2702	11.2183	12.3990	1.40922	1.3724

Rozdział 7

Podsumowanie i wnioski

- uzyskane wyniki w świetle postawionych celów i zdefiniowanych wyżej wymagań
- kierunki ewentualnych danych prac (rozbudowa funkcjonalna ...)
- problemy napotkane w trakcie pracy

Bibliografia

- [1] Redakcja Diagnostyki. *Oczopląs - co może oznaczać? Jakie badania warto wykonać?* 2023. URL: <https://diag.pl/pacjent/artykuly/oczoplas-co-moze-oznaczac-jakie-badania-warto-wykonac/#2-0-czym-swiadczy-oczoplas> (term. wiz. 10.01.2025).
- [2] Ieva Miseviciute. *4 methods to assess Alzheimer's with eye tracking*. 2025. URL: <https://www.tobii.com/resource-center/learn-articles/4-methods-to-assess-alzheimers-with-eye-tracking> (term. wiz. 09.01.2025).
- [3] Ieva Miseviciute. *How does Parkinson's disease alter visual search?* 2025. URL: <https://www.tobii.com/resource-center/scientific-publications/how-does-parkinsons-disease-alter-visual-search> (term. wiz. 09.01.2025).
- [4] Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. *Tytuł strony internetowej*. 2021. URL: <http://gdzies/w/internecie/internet.html> (term. wiz. 30.09.2021).
- [5] Imię Nazwisko, Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. „Tytuł artykułu konferencyjnego”. W: *Nazwa konferencji*. 2006, s. 5346–5349.
- [6] Imię Nazwisko, Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. „Tytuł artykułu w czasopiśmie”. W: *Tytuł czasopisma* 157.8 (2016), s. 1092–1113.
- [7] Imię Nazwisko, Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. *Tytuł książki*. Warszawa: Wydawnictwo, 2017. ISBN: 83-204-3229-9-434.
- [8] Tobii. *Eye tracking in neurology and psychiatry research*. 2025. URL: <https://www.tobii.com/resource-center/reports-and-papers/eye-tracking-neurology-and-psychiatry-research> (term. wiz. 09.01.2025).
- [9] Tobii. *Psychology and neuroscience use cases*. 2025. URL: <https://www.tobii.com/products/eye-trackers/screen-based/psychology-neuroscience-use-cases> (term. wiz. 09.01.2025).

Dodatki

Spis skrótów i symboli

DNA kwas deoksyrybonukleinowy (ang. *deoxyribonucleic acid*)

MVC model – widok – kontroler (ang. *model-view-controller*)

N liczebność zbioru danych

μ stopnień przyleżności do zbioru

\mathbb{E} zbiór krawędzi grafu

\mathcal{L} transformata Laplace’a

Źródła

Jeżeli w pracy konieczne jest umieszczenie długich fragmentów kodu źródłowego, należy je przenieść w to miejsce.

```
1 if (_nClusters < 1)
2     throw std::string ("unknown_number_of_clusters");
3 if (_nIterations < 1 and _epsilon < 0)
4     throw std::string ("You should set a maximal number of
        iteration or minimal difference — epsilon.");
5 if (_nIterations > 0 and _epsilon > 0)
6     throw std::string ("Both number of iterations and minimal
        epsilon set — you should set either number of iterations
        or minimal epsilon.");
```

Lista dodatkowych plików, uzupełniających tekst pracy

W systemie do pracy dołączono dodatkowe pliki zawierające:

- źródła programu,
- dane testowe,
- film pokazujący działanie opracowanego oprogramowania lub zaprojektowanego i wykonanego urządzenia,
- itp.

Spis rysunków

4.1	Podpis rysunku po rysunkiem.	10
5.1	Pseudokod w <code>listings</code>	12

Spis tabel

6.1	Nagłówek tabeli jest nad tabelą.	14
-----	--	----