



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI



Imię i nazwisko studenta: Elisa Mamos

Nr albumu: 155305

Studia pierwszego stopnia

Forma studiów: stacjonarne

Międzywydziałowy kierunek studiów: Inżynieria biomedyczna

prowadzony przez: Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Wydział Chemiczny, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej

Profil: Informatyka w medycynie

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

Tytuł pracy w języku polskim: Oprogramowanie wspomagające komunikację z komputerem osób cierpiących na zanikowe stwardnienie boczne

Tytuł pracy w języku angielskim: Communication software for people with ALS

Potwierdzenie przyjęcia pracy	
Opiekun pracy	Kierownik Katedry/Zakładu (pozostawić właściwe)
<i>podpis</i>	<i>podpis</i>
dr inż. Tomasz Kocejko	dr hab. inż. Jacek Rumiński, prof. nadzw. PG

Data oddania pracy do dziekanatu:



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI



OŚWIADCZENIE

Imię i nazwisko: Elisa Mamos

Data i miejsce urodzenia: 14.01.1996, Essen

Nr albumu: 155305

Międzywydziałowy kierunek studiów: inżynieria biomedyczna

prowadzony przez: Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Wydział Chemiczny,

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej

Poziom studiów: pierwszy

Forma studiów: stacjonarne

Ja, niżej podpisany(a), wyrażam zgodę/nie wyrażam zgody* na korzystanie z mojego projektu dyplomowego zatytułowanego:
do celów naukowych lub dydaktycznych.¹

Gdańsk, dnia

.....
podpis studenta

Świadomy(a) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2016 r., poz. 666 z późn. zm.) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2012 r., poz. 572 z późn. zm.),² a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładany projekt dyplomowy został opracowany przeze mnie samodzielnie.

Niniejszy projekt dyplomowy nie był wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem tytułu zawodowego.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. projekcie dyplomowym, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Potwierdzam zgodność niniejszej wersji projektu dyplomowego z załączoną wersją elektroniczną.

Gdańsk, dnia

.....
podpis studenta

Upoważniam Politechnikę Gdańską do umieszczenia ww. projektu dyplomowego w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej oraz poddawania jego procesom weryfikacji i ochrony przed przywłaszczaniem jego autorstwa.

Gdańsk, dnia

.....
podpis studenta

*) niepotrzebne skreślić

¹ Zarządzenie Rektora Politechniki Gdańskiej nr 34/2009 z 9 listopada 2009 r., załącznik nr 8 do instrukcji archiwalnej PG.

² Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym:

Art. 214 ustęp 4. W razie podejrzenia popełnienia przez studenta czynu podlegającego na przypisaniu sobie autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzego utworu rektor niezwłocznie poleca przeprowadzenie postępowania wyjaśniającego.

Art. 214 ustęp 6. Jeżeli w wyniku postępowania wyjaśniającego zebrany materiał potwierdza popełnienie czynu, o którym mowa w ust. 4, rektor wstrzymuje postępowanie o nadanie tytułu zawodowego do czasu wydania orzeczenia przez komisję dyscyplinarną oraz składa zawiadomienie o popełnieniu przestępstwa.

Streszczenie

Spis treści

1	Wstęp i cele pracy	9
2	Stan wiedzy	11
2.1	Układ nerwowy	11
2.1.1	Komórka nerwowa (neuron)	11
2.1.2	Podział układu nerwowego	12
2.2	Zanikowe stwardnienie boczne (ALS)	13
2.2.1	Opis jednostki chorobowej	13
2.2.2	Próby terapii chorych.	14
2.3	Augmentative and Alternative Communication System	15
2.4	Technologiczne rozwiązania dla chorych na ALS	17
2.4.1	Eye-tracking	17
2.5	Podsumowanie	19
3	Analiza projektowa	21
3.1	Wybrane technologie	21
3.1.1	QT	21
3.1.2	C++	22
3.2	Architektura systemu	22
3.2.1	Architektura aplikacji	22
3.2.2	Komunikacja aplikacji	23
3.3	Wymagania funkcjonalne	24
3.3.1	Przypadki użycia	24
3.4	Propozycja rozwiązania	25
3.4.1	Zakres projektu	25
3.4.2	Interfejs oprogramownia	25
3.5	Projekt testów	28
3.6	Cele biznesowe	28
3.6.1	Możliwość dalszego rozwoju	28

3.7	Wymagania pozafunkcjonalne	28
3.7.1	Ergonomia	28
3.7.2	Ograniczenia	28
3.8	Podsumowanie	28
4	Projekt aplikacji	29
5	Implementacja	31
5.1	Opis rozwiązania	31
5.2	Opis klas zastosowanych	31
6	Test i wyniki	33
7	Podsumowanie	35

Rozdział 1

Wstęp i cele pracy

Rozdział 2

Stan wiedzy

W tej sekcji zostanie przedstawiony stan wiedzy dotyczący neurologii, choroby zanikowego stwardnienia bocznego oraz rozwiązań technologicznych - w tym eye-trackingu.

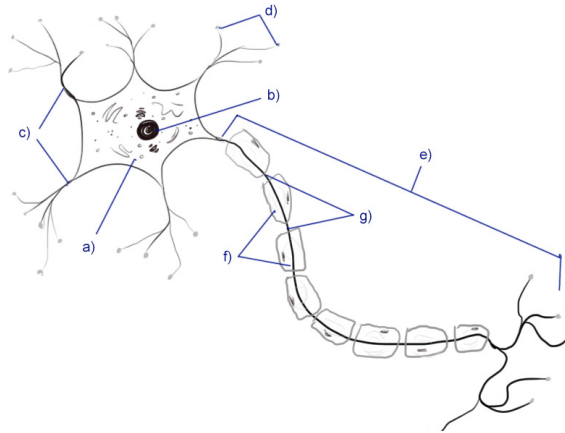
2.1 Układ nerwowy

Układ nerwowy jest to zespół narządów służących do odbierania, przetwarzania i przewodzenia bodźców z środowiska zewnętrznego oraz wewnętrznego do narządów wykonawczych - mięśni oraz gruczołów. Zapewnia on łączność organizmu ze środowiskiem zewnętrznym, a także reguluje działalność komórek organizmu poprzez współpracę z układem hormonalnym i krwionośnym. Podstawową jednostką budulcową jest neuron.

2.1.1 Komórka nerwowa (neuron)

Neuron jest jednostką morfologiczno-czynnościową układu nerwowego zbudowaną według schematu przedstawionego na rys. 2.1. Dendryty odpowiedzialne są za przewodzenie impulsów elektrycznych pobranych przez synapsy w kierunku somy - ciała komórki nerwowej. Wyprowadzeniem impulsu zajmuje się akson - wypustka osiowa. Kierunek przebiegu jest zawsze stały - mówi o tym prawo laryzacji dynamicznej. [2]

Przemieszczanie się impulsu elektrycznego zachodzi dzięki pompie sodowo-potasowej, która utrzymuje w komórce stałe napięcie powierzchniowe na błonie komórkowej. Potencjał spoczynkowy dla komórek nerwowych mieści się między -60, a -90mV, natomiast gdy dochodzi do pobudzenia komórki błona posiada potencjał czynnościowy, który mieści się między +20-50mV [1]. Właśnie dzięki postępującej różnicy potencjałów dochodzi do przewodzenia impulsu od dendrytu do aksonu i tym sposobem do kolejnego neuronu lub narządu wykonawczego.



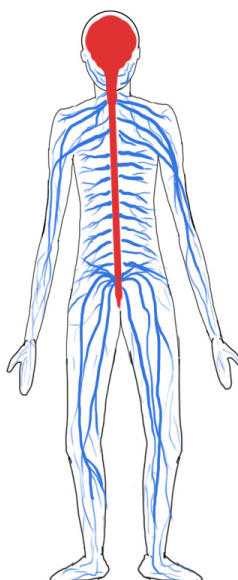
Rys. 2.1 Grafika przedstawiająca schematyczną budowę neuronu na podstawie danych z [1].

a) Soma/perikaryon - ciało neuronu zawierające SER, RER, aparaty Golgiego, neurotubule i neurofilamenty, rybosomy, mitochondria, a także b) jądro komórkowe, c) dendryty, d) synapsy, e) neuryt/axon, f) osłonka mielonowa, g) przewężenia Ranviera

2.1.2 Podział układu nerwowego

Układ nerwowy można podzielić najogólniej na układ somatyczny oraz autonomiczny. W skład pierwszego wchodzi ośrodkowy układ nerwowy oraz obwodowy układ nerwowy. Ośrodkowym układem nerwowym nazywa się mózgowie wraz z rdzeniem kręgowym, a obwodowym nerwy oraz zwoje. Schematyczny obraz układu nerwowego przedstawiono na rys. 2.2 - kolorem czerwonym centralny układ nerwowy, niebieskim obwodowy układ nerwowy. Układ autonomiczny składa się z układu współczulnego i przywspółczulnego.

Nerwy z kolei rozróżnia się ze względu na kierunek przewodnictwa na nerwy ruchowe można podzielić na ruchowe (tkzw. motoneurony) oraz czuciowe, lub też mieszane - ruchowo-czuciowe. Zgrupowanie komórek nerwowych poza ośrodkowym układem nerwowym nazywa się zwojem.



Rys. 2.2 Grafika przedstawiająca schematyczną budowę układu nerwowego.

2.2 Zanikowe stwardnienie boczne (ALS)

2.2.1 Opis jednostki chorobowej

Zanikowe stwardnienie boczne (ang. amyotrophic lateral sclerosis ALS, łac. sclerosis lateralis amyotrophica SLA) jest rzadką chorobą neurologiczną, dotyczącą w 75% przypadków zachorowań mężczyzn między 40 a 65 rokiem życia. [1] Jednakże termin ALS jest używany do określania więcej niż jednego schorzenia związanego z degeneracją neuronów ruchowych. Najczęściej stosowany jest, gdy mowa jest o klasycznej formie ALS (choroba Charcota), ale także w przypadku: Postępującego Porażenia Opuszkowego (Progressive bulbar palsy (PBP)), Postępującego Zaniku Mięśni (Progressive muscular atrophy (PMA)), Pierwotnego Stwardnienia Bocznego (Primary lateral sclerosis (PLS)), Syndromu Ramienia Cepowatego (Flail arm syndrome (Vulpian-Bernhardt syndrome)), Syndromu Nogi Cepowatej (Flail leg syndrome (Pseudopolyneuritic form)) oraz ALS z powikłaniami wielonarządowymi (np. ALS Dementia) [3]. W celu ujednolicenia nazewnictwa Lord Russell Brain zaproponował termin Chorób Neuronu Ruchowego (Motor Neurone Disease (MND)). [3]

Istotą choroby jest zwyrodnienie komórek nerwowych odpowiedzialnych za przekazywanie sygnałów, wynikiem czego jest atrofia unerwianych przez nie mięśni. Degenerują neurony kory motorycznej (górny motoneuron), oraz neurony ruchowe rogów brzusznych rdzenia kręgowego, lub rdzenia przedłużonego (opuszki) (dolny motoneuron). Objawia się to początkowo ich osłabieniem, a ostatecznie zanikiem (przy czym same komórki mięśniowe nie obumierają, a jedynie zmniejszają swój rozmiar), co skutkuje ograniczeniem ruchów chorego, między innymi: gryzienia, chodzenia, mówienia i oddychania. ALS nie atakuje układu pokarmowego oraz krwionośnego. Swoją funkcjonalność stosunkowo długo zachowują neurony jądra

Onufa unerwiające pęcherz moczowy i jądro nerwu okoruchowego odpowiedzialnego za ruchy gałek ocznych. Drogi czuciowe i sprawność intelektualna są zachowane. [4] Powoduje to, że pacjent jest więźniem we własnym ciele - często nie mogącym się skomunikować z otoczeniem. Co więcej ciągła świadomość pogarszającego się stanu chorego znacząco wpływa na jego samopoczucie i zdrowie psychiczne, prowadząc do depresji.

Nieznane są przyczyny zachorowań, jednak autorzy publikacji [3] oraz [5] są zdania iż ALS jest wynikiem wzajemnego oddziaływania wielu czynników takich jak: czynniki genetyczne (między innymi dziedziczny defekt genu odpowiedzialnego za syntezę enzymu - desmutazy ponadtlenu Cu/Zn. [[1]- [3]]), ekscytotoksyczność (patologiczny proces, w którym neurony są uszkodzane i zabijane przez aminokwasy o charakterze kwasowym m.in. glutaminian), stres oksydacyjny (gromadzenie reaktywnych form tlenu, na skutek zakłócenia równowagi pomiędzy ich wytwarzaniem, a biologiczną zdolnością do szybkiej detoksykacji, co prowadzi do obumierania komórek), dysfunkcje mitochondrialne (nieprawidłowości zarówno w ich budowie jak i funkcji), ograniczony transport aksonalny, anormalne gromadzenie neurofilamentów (to grupa białek włóknkowych stanowiących jeden z głównych komponentów cytoszkieletu komórek nerwowych), agregacja białek w cytoplazmie w postaci wtrętów, zaburzenia układu odpornościowego, reakcje autoimmunologiczne oraz niedobór neurotransmiterów. ALS jest chorobą postępującą, co oznacza, że wraz z biegiem czasu następuje nasilenie objawów, w tym całkowita utrata kontroli nad ruchami dobrowolnymi. Na dzień dzisiejszy jest nieuleczalna i prowadzi do śmierci chorego w przeciągu 1-2 lat (25% chorych). Jednak należy pamiętać, że SLA w swoim przebiegu jest chorobą bardzo indywidualną, więc tzw. okres przeżycia może wahać się w szerokich granicach. Ponad 25% chorych przeżywa więcej niż 5 lat, w tym ok. 5% powyżej 10 lat . [6]

2.2.2 Próby terapii chorych.

Do tej pory nie został znaleziony sposób skutecznego leczenia przyczynowego ALS. Jedynym lekiem o sprawdzonej skuteczności i dopuszczonym do stosowania w terapii jest Rilutek (Riluzole, benzotiazol). Autorzy książki [7] poświęconej schorzeniu donoszą, że „Badania naukowe dowodzą, że leczenie Riluzolem w dawce 100 mg dziennie (2x50 mg) przez 18 miesięcy nieznacznie wydłuża przeżycia chorych (średnio 3 – 4 miesiące) niestety nie wpływając na poprawę ich stanu klinicznego i jakości życia.”. Terapia farmakologiczna chorych na ALS sprowadza się więc do leczenia objawowego.

Innym ważnym aspektem terapii chorego jest odpowiednia rehabilitacja. Zwiększenie zakresu ruchów chorego oraz jak najdłuższe utrzymanie jego zdolności do samodzielnego wykonywania codziennych czynności jest głównym zadaniem specjalistycznej rehabilitacji ruchowej, która powinna być prowadzona od momentu diagnozy. Przykładowo wykonywane są: ćwiczenia w sali gimnastycznej, zajęcia ruchowe w basenie wzmacniające odpowiednie grupy mięśni, ćwiczenia czynne na sali chorych (chodzenie w balkonikach, stabilizatorach), czy też ćwiczenia bierne w łóżku chorego połączone z masażem leczniczym u pacjentów bez spastycznego napięcia. [7] Korzystne efekty mogą wywoływać też takie zabiegi jak hydroterapia, kąpiele ciepłe, elektroterapia, krioterapia. [6]

Z powodu utraty kontroli nad aparatem mowy komunikacja z chorym może stać

się ograniczona, lub wręcz niemożliwa, dlatego lekarze, logopedzi i opiekunowie pacjenta mają za zadanie jak najdłuższe utrzymanie komunikacji. Mowa tu nie tylko o komunikacji werbalnej, ale o nowych metodach wypracowywanych indywidualnie przez chorego i opiekuna. Przy narastających zaburzeniach dyzartrycznych wykorzystuje się metody systemu ACC (ang. Augmentive and Alternative Communication System) czyli wspomagającego zastępczego systemu komunikacji, zwiększającego możliwości komunikacyjne. [7]

2.3 Augmentative and Alternative Communication System

Augmentative and alternative communication (AAC) jest dziedziną badań klinicznych oraz edukacyjnych. Głównym założeniem jest próba zgłębienia oraz kompensacji, gdy to konieczne, tymczasowych lub trwałych upośledzeń, czy też ograniczeń ze względu na możliwość posługiwania się oraz rozumienia komunikacji werbalnej oraz pisemnej. Najczęstszymi przyczynami sięgania do tych metod komunikacji są: upośledzenia umysłowe, mózgowe porażenie dziecięce, autyzm oraz postępująca apraksja mowy [8] (jak w przypadku ALS). Zadaniem AAC nie jest jedynie wprowadzenie możliwości komunikacji osób chorych z otoczeniem, ale także umożliwienie im czynnego udziału w życiu społecznym oraz towarzyskim, wykonywania czynnego zawodu, czy też poświęcaniu się hobby jak pisanie prozy, bądź poezji, co w sposób znaczący odbija się na ich samopoczuciu oraz jakości życia. Dąży się zatem do zapewnienia tego podstawowego prawa każdemu pacjentowi.

ACC polega na wymianie wiadomości, które muszą zostać sformułowane, przechowane oraz odzyskane w dowolnym momencie. Wiadomością może być pojedyncze słowo, kod lub też struktury bardziej złożone mające na celu podtrzymanie komunikacji interpersonalnej, pisanej – także tej na mediach społecznościowych, które w dzisiejszych czasach stanowią ważny filar interakcji międzyludzkich.

Istnieje kilka metod formowania pełnych zdań : jedną z nich jest wpisywanie wiadomości znak po znaku, inną jest korzystanie z gotowych bibliotek wyrazów. Możliwe jest także wykorzystanie już gotowych wzorów pełnych, lub części zdań – co zdecydowanie przyspiesza komunikację, jednak metoda ta jest ograniczona przez pamięć biblioteki przechowującej takie wzorce. Biblioteka taka tworzona i kompletowana jest zgodnie z indywidualnymi potrzebami chorego i zależy od jego płci, wieku, zawodu, stylu życia itp. Dla dzieci przygotowywane są specjalne tablice obrazkowe, które pozwalają im na jasny przekaz.

Tablice można podzielić ze względu na ich ułożenie obiektów na statyczne oraz dynamiczne. W tablicach statycznych każdy obiekt ma swoje ustalone położenie, które nie zmienia. Do komunikacji niezbędna jest więc duża ilość statycznych tablic – przykładem są tablice fizyczne – papierowe, gdzie nie można zmieniać położenia wydrukowanych na kartce elementów. Dynamiczne wyświetlacze odnoszą do się wyświetlaczy komputowych, w których dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu, można dynamicznie poruszać się między widokami. W celu ułatwienia korzystania z bibliotek zebranych w tablice istnieje kilka metod przedstawionych w [8].

1. Semantic-Syntactic Grid Displays (Semantyczno-syntaktyczna siatka/tablica) – tablica cechująca się podziałem wyświetlanych na niej słów na kategorie, zazwyczaj ze względu na części mowy. Możliwe jest także przedstawienie słów w logicznej kolejności występowania w zdaniu. Przykładowym algorytmem sortowania jest klucz Fitzgeralda – słowa układa się od lewej do prawej, układając je w klasy odpowiadające na pytania: „Kto?”, „Co robi?”, „Co?”, „Gdzie?”, „Jaki?”, „Kiedy?” itd. Słowa, bądź litery najczęściej wybierane układane są w pierwszym bądź ostatnim wierszu tablicy. Elementem stanowczo usprawniającym korzystanie było kolorowanie elementów zgodnie z ich przynależnością do klasy.
2. Taxonomic Grid Displays (Siatka/tablica taksonomiczna) – dzieli słownictwo na klasy: osoby, miejsca, uczucia, jedzenie, napoje, słowa opisujące czynności. Nie jest to rekomendowany typ tablic dla dzieci w wieku poniżej 6 roku życia.
3. Activity Grid Displays (Tablica/siatka czynności) – najpopularniejszy typ tablic. Kategoryzacja słownictwa następuje ze względu na rodzaj czynności, wydarzenia, czy rutyny, której ono dotyczy np. „zakupy” lub „płacenie przy kasie”, czy też „rozmowa ze sprzedawcą”. Każda kategoria jest podzielona jak wyżej na mniejsze podklasy ze względu na to, co dane słowo określa.
4. Pragmatic Organization Dynamic Display (Dynamiczny wyświetlacz struktur pragmatycznych) – metoda kładącą duży nacisk na efektywność komunikacji, w tym celu stosując kombinację kilku różnych strategii organizacji słownictwa.
5. Visual Scene Displays (Wyświetlacz obrazkowy) – słownictwo posortowane jest według przynależności do czynności lub rutyny, które zobrazowane są w postaci symbolu kojarzącego się z nimi. Rozmieszczenie tych grafik nie jest siatkowe, a metodyczne. Takie rozwiązanie wykazało się wyjątkowo skuteczne w pracy z małymi dziećmi, które w bardzo krótkim czasie opanowały taką formę komunikacji. Zauważono także większą chęć interakcji w przypadku korzystania z tej formy niż w przypadku korzystania z tablic.
6. Hybrid Display (Wyświetlacz hybrydowy) – połączenie metody wyświetlacza obrazkowego oraz tablic. Przedstawia się zdjęcie, na którym zaznaczone są elementy i wyświetlone związane z nimi słowa np. na obrazku widać osobę, więc wyświetlane będą np. części ciała, czynność jaką ta osoba wykonuje, emocje itp. ...

Ze szczególnym przypadkiem, który wymaga osobnego traktowania, mamy do czynienia w przypadku osób dorosłych z nabytą niepełnosprawnością – jak ma to miejsce w wypadku chorych na ALS. 93% osób chorujących jest uzależniona od metod AAC. Dorośli potrzebują więcej czasu, żeby przestawić się i przyzwyczaić się do niewerbalnej komunikacji, dlatego też zalecana im jest nauka korzystania np. z tablic od razu po diagnozie, nawet jeśli chory jest jeszcze w pełni sprawny. Zmiana stanu zdrowia w wypadku tej jednostki może nastąpić w bardzo krótkim czasie.

2.4 Technologiczne rozwiązania dla chorych na ALS

Jak wyżej wspomniano, do rozwiązań dla chorych na ALS należą statyczne oraz dynamiczne tablice, jednak aby się nimi posługiwać należy albo opracować metodę AAC np. dwa mrugnięcia oznaczają tak, a jedno nie, lub wykorzystać sygnały płynące z organizmu ludzkiego jako wskaźniki. Do mierzonych wartości należą m.in. impulsy elektryczne pochodzące z mózgu (mierzone za pomocą EEG), mięśni (mierzone za pomocą EMG) lub detekcja mikroruchów kończyn. [9] Ze względu na to, że technologie wykorzystujące EEG wymagają bardzo stabilnych warunków elektromagnetycznych i są niezwykle czułe na szum, nie są optymalnymi rozwiązaniami dla chorych na ALS. Metodą bardzo dobrze się sprawdzającą, ze względu na długie zachowanie funkcjonalności gałek ocznych, jest EGT, czy też eye-tracking, czyli śledzenie wzroku. Jest to metoda bardziej niezawodna niż wyżej wymienione.

2.4.1 Eye-tracking

Eye-tracking, znany również jako okulorografia, ma za zadanie np. określenie ruchów gałek ocznych, a przez to punktu fiksacji wzroku, najczęściej w czasie rzeczywistym. Do metod pozwalających na śledzenie wzroku oraz ruchów oczu należy m.in. elektrookulografia, śledzenie ruchu gałek ocznych, powiek, metody działające w oparciu o szkła kontaktowe, metody wykorzystujące refleksy na rogówce lub źrenicy [9]. Do poprawnego działania wymienionych metody najczęściej niezbędny jest również pomiar ruchów głowy.

Technologia ta wykorzystywana jest często podczas badań marketingowych do określenia skuteczności reklamy – ustalenia, co przyciąga największą uwagę odbiorcy, bądź w celu orzeczenia poziomu użyteczności zaprojektowanego interfejsu. Coraz częściej implementuje się dane techniki np. w grach, w medycynie m. in. w celu umożliwienia korzystania z urządzeń ekranowych osobom z upośledzeniami fizycznymi, które ich przed tym powstrzymują oraz wszędzie tam, gdzie użytkownik nie może mieć zajętych rąk. We współpracy z urządzeniami elektronicznymi takimi jak komputer lub urządzenia mobilne osoba upośledzona, bądź chora może w sposób znaczący poprawić swoją jakość życia. W celu sprawnej współpracy niezbędne jest dokładne określenie punktu fiksacji wzroku (punktu, na którym użytkownik skupia swój wzrok przez co najmniej 0,15s) [10].

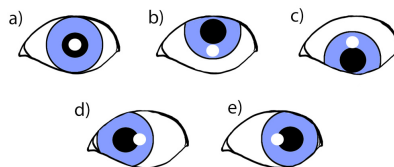
Podział urządzeń do eye-trackingu

Z przykładem bardzo dobrego podziału urządzeń można zapoznać się na materiałach wykładowych pana dr inż. Bartosza Kunki [11]. Według niego pierwszym kryterium podziału powinna być mobilność urządzenia pomiarowego na: mobilne i niemobilne, gdzie do pierwszych zaliczyć można wszystkie urządzenia nagłowne np. smartglasses, a do drugich urządzenia stacjonarne – związane na stałe np. z monitorem lub zamontowane na stojakach – mam wtedy do czynienia najczęściej z urządzeniami bezdotykowymi. Urządzenia mobilne bazują na technice wykorzystujące podczerwień, natomiast stacjonarne mogą, prócz wyżej wspomnianej, monitorować badane parametry również niezależnie od światła

IR – wykorzystując światło dzienne.

Działanie urządzeń opartych na oświetleniu w podczerwieni. [[11], [12]]

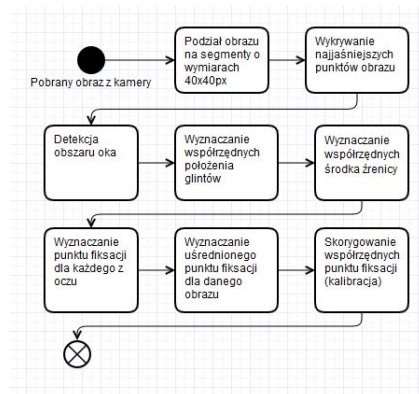
W celu obserwacji ruchów gałki ocznej i określenia punktu fiksacji należy oko naświetlać światłem punktowym w podczerwieni albo w linii zgodnej z osią kamery, bądź poza nią i w zależności od wybranej metody zauważa się inne zjawiska optyczne. Podczerwień powoduje znaczny wzrost kontrastu między tęczówką, a źrenicą oka, co pozwala na dokładniejsze określenie pozycji źrenicy, co wyznaczane jest na podstawie odbicia obserwowanego na nagraniu tworzonym przez kamerę, która przez cały czas działania aparatury skierowana jest na jedno z oczu osoby badanej [12]. Wśród obserwowanych odbić najbardziej istotnym względem badanego aspektu jest tzw. glint (błysk na rogówce, powstający, gdy dioda jest poza osią kamery). Glint, znany również jako pierwszy obraz Purkiniego [[11], [12]], nie zmienia swego położenia wraz z ruchami gałki ocznej – dlatego uważany jest jako punkt referencyjny, tak długi, jak głowa badanej osoby pozostaje nieruchoma względem kamery. Diody umieszczone na osi kamery wywołują zjawisko jasnej źrenicy [11] – część podczerwonego światła przedostaje się do źrenicy i zostaje od niej odbita, wywołując efekt przypominający np. kocie oko oświetlone w ciemności. Porównując więc pozycję glinta (lub glintów) oraz ruchomej jasnej źrenicy jesteśmy w stanie na podstawie ich względnego położenia określić punkt fiksacji oka. Określenie kierunku skierowania wzroku na podstawie względnego położenia glintu oraz źrenicy na grafice 2.3. Schemat algorytmu wyznaczania punktu fiksacji przedstawiono na rysunku 2.4 opartym na materiałach wykładowych [11].



Rys. 2.3 Położenie glinta względem środka źrenicy w zależności od ruchu gałki ocznej.

a) patrzenie prosto w źródło światła b) patrzenie powyżej źródła światła c) patrzenie poniżej źródła światła d) patrzenie w lewo od źródła światła e) patrzenie w prawo od źródła światła

Odległości wyliczane są na podstawie obrazów przechwyconych przez kamerę i przetworzonych komputerowo. Tą samą technologię można również zmodyfikować, by wyznaczać punkt fiksacji z położenia 4 glintów (wywołanych 4 diodami rozmieszczonymi w narożnikach ekranu) lub przy zastosowaniu skomplikowanych przekształceń matematycznych, poprawiających dokładność wyznaczenia punktu fiksacji. [11] Inną metodą – wykorzystującą na przemian dwa rodzaje diod (na lub poza osią kamery) jest metoda różnicowa [11]. Wykorzystuje się kolejne klatki nagrania, przy czym jedna klatka zawiera efekt jasnej źrenicy, a druga zawiera efekt ciemnej źrenicy i glinty. Punkt fiksacji po raz kolejny jest wynikiem różnicy odległości obu zjawisk i obliczany jest na podstawie wynikowego obrazu różnicowego.



Rys. 2.4 Poglądowy schemat algorytmu wyznaczania punktu fiksacji przy wykorzystaniu światła IR.

Przykładami technologii, które do tej pory wykorzystywały powyższy algorytm to np. Erica[1989].

Działanie urządzeń opartych na świetle dziennym.

W przypadku metod wykorzystujących światło dzienne i kamerę rejestrującą ruchy gałek ocznych mamy do czynienia z bardzo złożonymi algorytmami komputerowymi, które pozwalają na przetwarzania obrazu powodującego określenie punktu fiksacji wzroku. Wraz z zaletą, jaką jest brak zapotrzebowania na dodatkowy sprzęt (algorytmy mogą współpracować z wbudowanymi kamerkami komputerowymi), technologie te niestety często charakteryzują się gorszą dokładnością.

Przykładem technologii korzystającej ze światła dziennego jest Eye Mouse – projekt powstały na terenie Politechniki Gdańskiej [9], którego głównym założeniem jest wykorzystanie wzroku jako zastępstwo myszy komputerowej oraz klawiatury. W tym celu wykorzystuje się dwie kamery – jednej śledzącej wzrok, a drugiej położenie głowy osoby badanej względem ekranu – tak, że na otrzymany wynik nanoszona jest korekta. W rogach ekranu umieszczone są 4 diody światła podczerwonego jako znaczniki. W procesie przetwarzania obrazów usuwany jest szum oraz wyznaczana jest źrenica oraz jej środek. Kolejnym krokiem jest oznaczenie wzajemnej zależności pozycji ekranu względem głowy osoby badanej – w tym celu wykorzystuje się znaczniki LED. Proces ten niezbędny jest w celu kalibracji.

2.5 Podsumowanie

Zapoznawszy się z problematyką choroby zanikowego stwardnienia bocznego oraz z możliwościami technologicznymi oferowanymi pacjentom można przejść do stworzenia aplikacji komputerowej, która ma za cel ułatwienie komunikacji chorych z komputerem. Wykorzysta się do tego metodę eye-trackingu korzystającą ze światła dziennego - zwiększając w ten sposób dostępność oraz uniwersalność aplikacji.

Rozdział 3

Analiza projektowa

Rozdział poświęcony analizie wybranych technologii oraz wymagań projektu. Przedstawiono również wstępną analizę dotyczącą przypadków użycia oraz metod testowania produktu.

3.1 Wybrane technologie

Krótki opis teoretyczny wybranych technologii - C++ oraz bibliotek QT.

3.1.1 QT

QT jest zespołem przenośnych bibliotek oraz narzędzi programistycznych stworzonych w C++ do tworzenia aplikacji desktopowych, zagnieżdżonych, jak również mobilnych. Wspiera systemy takie jak: Linux, OS X, Windows, xWorks, QNX, Android, iOS, BlackBerry, Sailfish OS, dzięki czemu jest nadzwyczaj uniwersalnym narzędziem kompatybilnym z następującymi językami programowania: C++, QML (QT Modeling Language), Python, Ring, Go, Rust, PHP i Java. [13] [14]

QT zapewnia listę dodatkowych możliwości rozszerzających C++. Są to między innymi:

- mechanizmy pozwalające na komunikację między obiektami zwane sygnałami i otworami (slots)
- wyjątkowa możliwość edycji wyglądu i responsywności obiektów
- swobodna możliwość edycji zachowań w przypadku różnego rodzaju zdarzeń
- kontekstowe tłumaczenie stringów do internacjonalizacji
- hierarchiczne i responsywne drzewa obiektowe, organizujące strukturę obiektów
- automatyczna zmiana wartości wskaźników na 0 w przypadku zniszczenia obiektu, w przeciwieństwie do wskaźników w C++, które stając się zawieszonymi (dangling pointers) [14]

3.1.2 C++

C++ jest powszechnie stosowanym językiem programistycznym, będącym potomkiem języka C, w którym wprowadzono szereg udogodnień. W porównaniu z C, C++ zapewnia dokładniejsze sprawdzanie typów danych, wspiera abstrakcje, programowanie obiektowe (z tego względu mówi się o nim jako o języku pseudo-obiektowym), programowanie uogólnione i więcej stylów programistycznych. Do wspieranych założeń programowania obiektowego należą polimorfizm, enkapsulacja i dziedziczenie. Nowsza wersja C posiada również bardzo dużą ilość bibliotek, których wykorzystanie znacznie ułatwia jego wykorzystanie.

3.2 Architektura systemu

System składa się z warstwy aplikacji oraz warstwy transportowej. Komunikacja zrealizowana jest za pomocą broadcastu przy pomocy protokołu UDP (user data protocol).

3.2.1 Architektura aplikacji

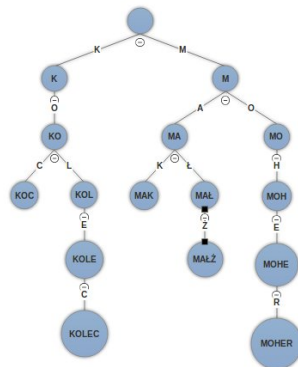
Aplikację zrealizowano w wyżej wymienionym języku C++ z wykorzystaniem wielu bibliotek QT np. QWidget, QString, QtGui, QPainter itd.. Do funkcji auto uzupełniania tekstu posłużono się algorytmem wykorzystującym skompresowane drzewo trie.

Sompresowane Drzewo Trie

Drzewo Trie jest drzewem służącym docelowo do sortowania wartości tekstowego typu danych, w którym każdemu węzłowi przypisany jest wspólny prefix (fragment klucza). Wartości tekstowe zapisywane są w liściach drzewa. [15] Do drzewa wczytywane zostają wszystkie słowa z danego mu słownika, a następnie każde rozkłada się na litery i rozmieszcza w drzewie, tak by czytając znaki od korzenia do liścia tworzyły pożądaną ciąg. Biorąc na przykład słownik składający się z następujących słów: mak, róża, kolec, małż, koc, moher otrzymujemy następujące drzewo 3.1. W ten sposób poszukując słów zaczynających się na "ko" w bardzo prosty sposób możemy określić, że zaliczają się do nich koc oraz kolec.

Drzewo to w znaczący sposób skraca czas przeszukiwania dużych słowników (w wypadku tego projektu 3639970 wyrazów) i umożliwia np. auto uzupełnianie albo korektę słów bieżąco wpisywanych przez użytkownika.

Zastosowany algorytm wykorzystuje fakt występowania wspólnych węzłów i zapamiętuje jedynie numer ostatniego węzła związanego z wyszukiwanym słowem np. dla frazy "ko- węzeł nr. 2, a następnie pobiera wartości wszystkich dzieci tego węzła, zespala je i tworzy wszystkie możliwe końcówki (tu óraz lec"), które w połączeniu z szukaną frazą dają auto uzupełnianie słowa.



Rys. 3.1 Przykładowe drzewo typu Trie.

3.2.2 Komunikacja aplikacji

System umożliwia komunikację poprzez broadcast z innymi użytkownikami jak i poprzez specjalne API Google z przeglądarką internetową.

Broadcast jest metodą komunikacji (rozsyłania danych) między jednym nadawcą, a wieloma odbiorcami w tym samym czasie. Jest to dyfuzyjny, jednokierunkowy tryb transmisji charakterystyczny dla sieci LAN. Protokołem regulującym dany ruch sieciowy jest w tym wypadku UDP (User Datagram Protocol). Jest to bezpołączeniowy protokół, który pozwala aplikacjom dobudować własne - niezbędne do poprawnego działania, protokoły. Zapewnia on aplikacji możliwość wysyłania enkapsulowanych datagramów IP bez potrzeby wytworzenia połączenia, co jest jednocześnie dużo szybszą metodą komunikacji, niż tryb synchroniczny. Nie dba on o to, czy wysłane ramki dotrą do odbiorcy w całości, co jest typowe dla komunikacji asynchronicznej. UDP transmituje segmenty złożone z 8-bajtowego nagłówka oraz fragment przesyłanych danych, będący formą wiadomości. UDP zapewnia informację o portach źródłowych i docelowych. Port źródłowy jest przydatny w momencie, gdy urządzenie odbiorcy zechce odesłać odpowiedź na otrzymany segment. Rozmiar ramki wynosi od 8-65 515 bajtów. [16]

Google Custom Search umożliwia stworzenie własnej wyszukiwarki umożliwiającej na przeszukiwanie zarówno stron internetowych jak i obrazów. Możliwe jest zawężenie i personalizacja wyników wyszukiwania np. do wyników pochodzących z konkretnej strony, lub zawierających sprecyzowaną frazę. Google Search Engine występuje w dwóch wersjach - Custom Search Engine, która jest darmowa oraz Google Site Search, które jest wersją płatną. Do potrzeb projektowych wystarczająca jest wersja darmowa, która umożliwia korzystanie z dodatkowych API umożliwiających zwrócenie wyników wyszukiwania w postaci pliku XML czy też JSON. API te upraszczają komunikację aplikacji z przeglądarką do zapytań RESTowych typu get w celu otrzymania uporządkowanej struktury danych. [17]

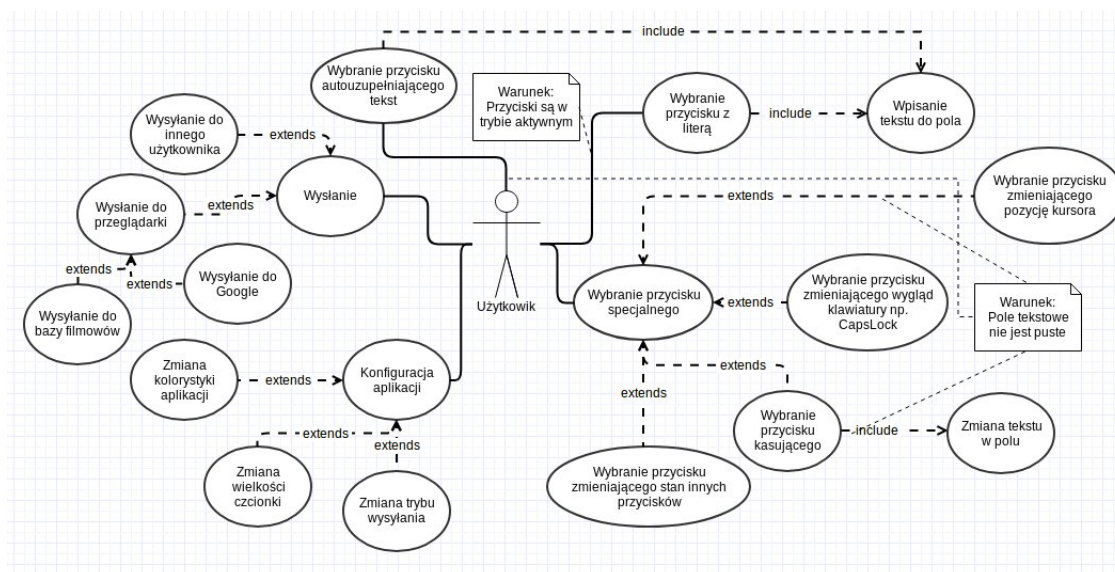
3.3 Wymagania funkcjonalne

Po przeanalizowaniu problemu klawiatury ekranowej oraz potrzeb osób chorych na ALS stwierdzono następujące wymanagania funkcjonalne:

- Klawiatura ekranowa reagująca na sygnał wejściowy będący współrzędnymi punktu fiksacji, które określane są z dokładnością jednego stopnia. Zakładając, że odległość użytkownika od ekranu to 60cm, wyliczono iż dokładność wyznaczania pozycji to obszar ok. 3,2 cm powierzchni ekranowej. Dla komputera o ekranie 14 cal (monitor testowy), gdzie rozmiar pojedynczego piksela to ok. 0,2269 mm - to, w przybliżeniu, 141px dla każdego przycisku.
- Możliwość auto uzupełniania słów za pomocą słownika języka polskiego.
- Możliwość wprowadzenia przycisków w stan nieaktywny.
- Wykorzystywanie polskich znaków w tekście.
- Wysyłanie wiadomości za pomocą broadcastu.
- Wyszukiwanie stron w przeglądarce Google.
- Możliwość konfigurowania wyglądu aplikacji - różne stopnie kontrastu oraz kolorystyki, a także rozmiaru czcionki tekstu wpisywanego.

Szczegółowe przypadki użycia klawiatury zobrazowano w rozdziale "Przypadki użycia" 3.3.1.

3.3.1 Przypadki użycia

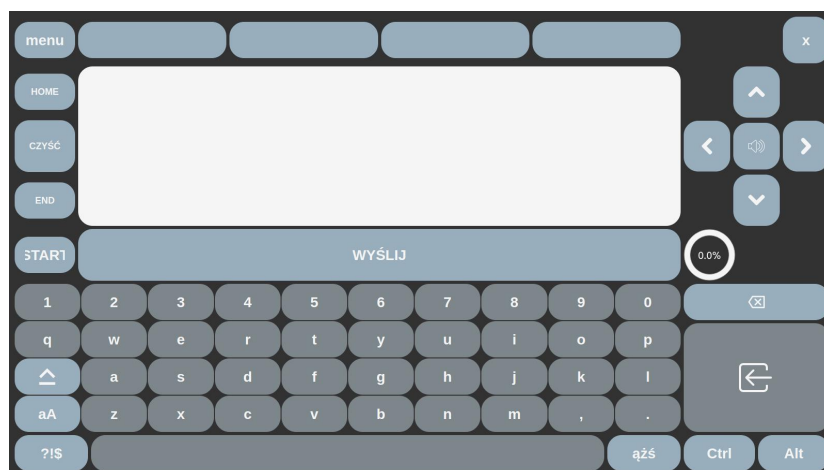


Rys. 3.2 Wykres przypadków użycia stworzony za pomocą strony Gliffy.com

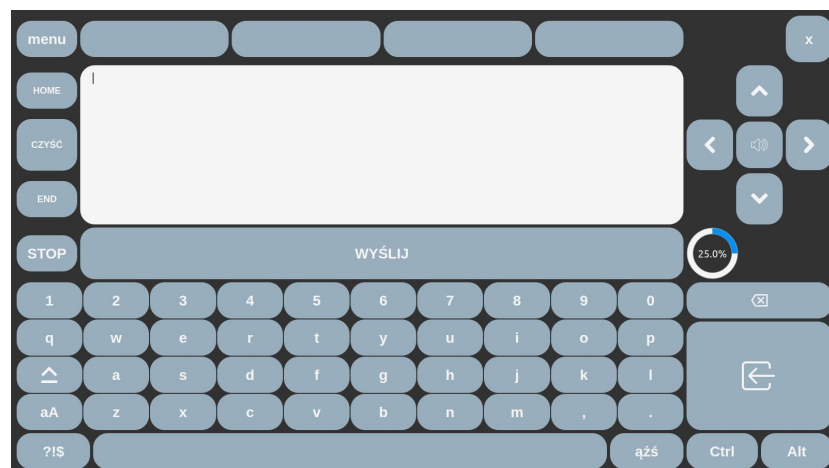
3.4 Propozycja rozwiązania

3.4.1 Zakres projektu

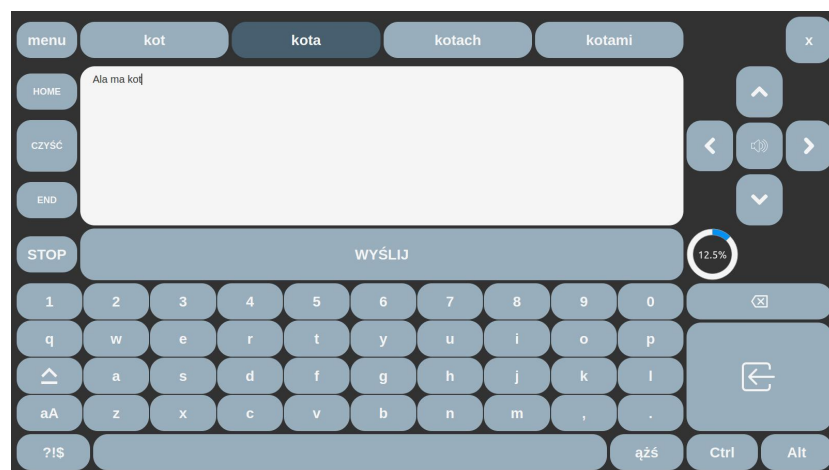
3.4.2 Interfejs oprogramownia



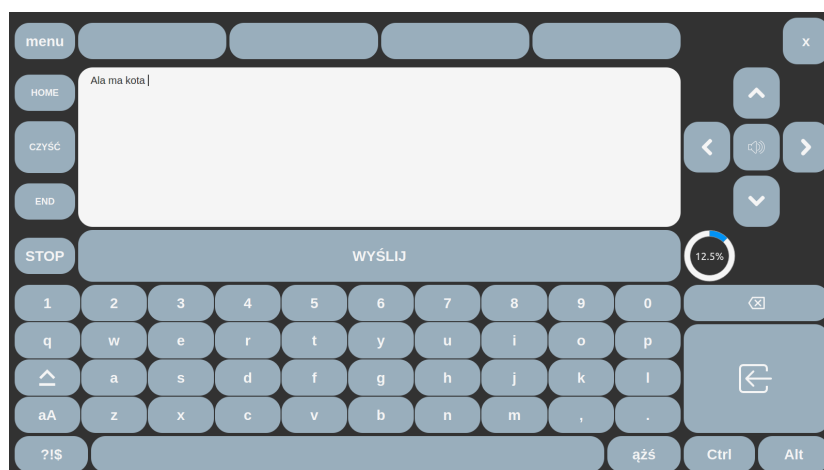
Rys. 3.3 Początkowy wygląd aplikacji z nieaktywnymi przyciskami.



Rys. 3.4 Aktywny wygląd aplikacji.



Rys. 3.5 Przykład wyświetlanych opcji autouzupełniania.



Rys. 3.6 Tekst i podpowiedzi po wybraniu sugerowanego tekstu.

3.5 Projekt testów

3.6 Cele biznesowe

3.6.1 Możliwość dalszego rozwoju

3.7 Wymagania pozafunkcjonalne

3.7.1 Ergonomia

3.7.2 Ograniczenia

3.8 Podsumowanie

Rozdział 4

Projekt aplikacji

Rozdział 5

Implementacja

5.1 Opis rozwiązania

5.2 Opis klas zastosowanych

Rozdział 6

Test i wyniki

Rozdział 7

Podsumowanie

Bibliografia

- [1] Taub E. Mumenthaler M., Mattle H. *Fundamentals of Neurology: An Illustrated Guide*. Georg Thieme Verlag, 2006.
- [2] Krechowicki A., Kubik W., Sokołowska-Pituchowa J. Łasiński W., Narkiewicz O., Sylwanowicz W., and Szostakiewicz-Sawicka H. *Anatomia Człowieka Podręcznik dla Studentów Medycyny*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, 1983. Wydanie IV poprawione i uzupełnione.
- [3] Leigh P. N. Wijesekera L.C. Amyotrophic lateral sclerosis. Institute of Psychiatry, Kings College London, February 2009.
- [4] Ossowska K. Leczenie choroby parkinsona i stwardnienia zanikowego bocznego.
- [5] Ryszard Podemski. *Kompendium Neurologii Wydanie III*. VIA Medica, 2014.
- [6] Bała P., Karolczyk E., Zychowska E., Jóźwiak B., Janicki R. and Śliwka A., Żuławiński M., and Szkulmowski Z. Poradnik dla chorych na śl/mnd, 2009.
- [7] Tomik B. Adamek D. *Stwardnienie boczne zanikowe*. ZOZ Ośrodek UMEA Shinoda-Kuracejo, 2005.
- [8] Pat M. Beukelman D. *Augmentative and Alternative Communication, Supporting Children and Adults with Complex Communication Needs Fourth Edition*. Paul H. Brookes Publishing Co., 2013.
- [9] J. Wtorek T. Kocejko, A. Bujnowski. Eye mouse for disabled. Conference on Human System Interactions, 2008.
- [10] B. Kunka. System monitorujący stopień koncentracji uwagi uczniów. In *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 26 XIX Seminarium ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2009 Oddział Gdański PTETiS Referat nr 16*. Katedra Systemów Multimedialnych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska, 2009.
- [11] B. Kunka. System śledzenia punktu fiksacji wzroku na monitorze komputera. Katedra Systemów Multimedialnych, Politechnika Gdańska, 2013. Wykład.

-
- [12] T. E. Hutchinson, K. P. White, W.N. Martin, K. C. Reichert, and L. A. Frey. Human- computer interaction using eye-gaze input. In *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, Vol. 19, No. 6, November/December 1989.
 - [13] About qt. http://wiki.qt.io/About_Qt. Data dostępu: 2017-11-11.
 - [14] Language bindings. http://wiki.qt.io/Language_Bindings. Data dostępu: 2017-11-11.
 - [15] Trie tree - definicja national institute of standards and technology. <https://xlinux.nist.gov/dads/HTML/trie.html>. Data dostępu: 2017-11-17.
 - [16] D. J. Wetherall. A. S. Tanenbaum. Computer networks. Pearson, 2003. Edycja 5.
 - [17] Google custom searchengine. <https://developers.google.com/custom-search/docs/overview>. Data dostępu: 2017-11-20.