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 *podpis*	Kierownik Katedry/Zakładu (pozostawić właściwe) *podpis*
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

Rozdział 1

Wstęp i cele pracy

Rozdział 2

Stan wiedzy

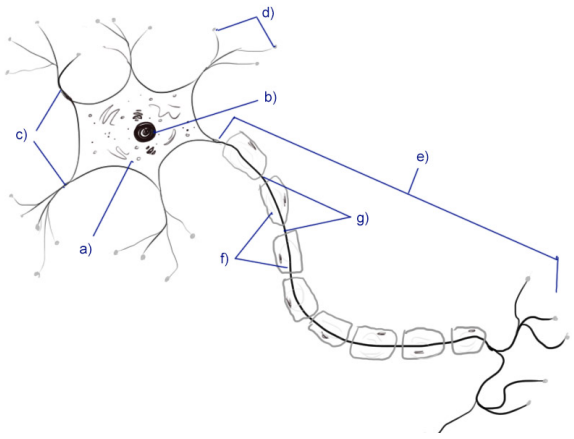
W tej sekcji zostanie przedstawiony stan wiedzy dotyczący neurologii, choroby zanikowego stwardnienia bocznego oraz rozwiązań technologicznych - w tym eye-trackingu.

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 w zakresie od -60mV do -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.

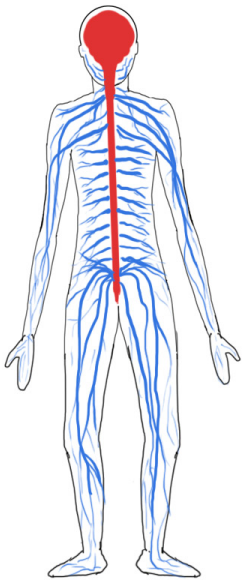


Rys. 2.1 Grafika przedstawiająca schematyczną budowę neuronu na podstawie danych z [1].
a)Soma/perykarion - ciało neuronu zawierające SER, RER, aparaty Golgiego, neurotubule i neurofilamenty, rybosomy, mitochondria, a także b) jądro komórkowe, c)dendryty, d)synapsy, e)neuryt/axon, f)osłonka mielonowa, 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 dzieli się ze względu na kierunek przewodnictwa impulsu nerwowego na: nerwy ruchowe (tzw. motoneurony) oraz czuciowe i 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. ALSDementia) [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 ponadtlenku Cu/Zn. [[1]- [3]]), ekscytotoksyczność (patologiczny proces, w którym neurony są uszkadzane 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 włókienkowych 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 cieplne, 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 ułożenie ich 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 stosuje się 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 krótki 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 jaka ta osoba wykonuje, emocje itp. ...

Ze szczególnym przypadkiem, który wymaga osobnego potraktowania, 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 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. Pogorszenie 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 tablice statyczne oraz dynamiczne, 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

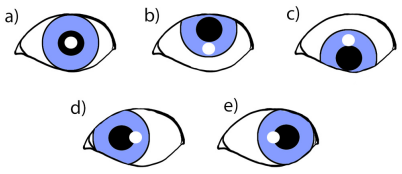
Eye-tracking, znany również jako okulorografia, ma za zadanie np. określenie ruchów gałek ocznych, a przez to punktu fiksacji wzroku, najczęściej w czasie rzeczywistym. Do metod pozwalających na śledzenie wzroku oraz ruchów oczu należy m.in. elektrookulografia, śledzenie ruchu gałek ocznych, powiek, 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 mięć 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 czytając materiały wykładowe dr inż. Bartoszka Kunki [11]. Według niego pierwszym kryterium podziały powinna być mobilność urządzenia pomiarowego na: mobilne i niemobline, 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 wykorzystującej podczerwień, natomiast stacjonarne mogą, prócz wyżej wspomnianej, monitorować badane parametry również niezależnie od światła

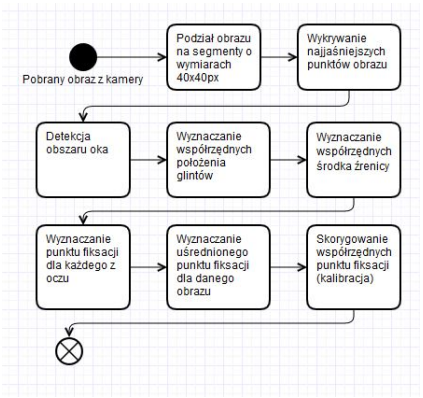
IR – wykorzystując światło dzienne.

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 znaczy wzrost kontrastu między tęczówką, a źrenicą oka, co pozawala 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 Purkinjego [[11], [12]], nie zmienia swego położenia wraz z ruchami gałki ocznej – dlatego uważany jest jako punkt referencyjny, tak dług, 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 określić punkt fiksacji oka na podstawie ich względnego położenia. Określenie kierunku skierowania wzroku na podstawie względnego położenia glintu oraz źrenicy przedstawiono na rysunku 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 postawie 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 różni-



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

cowego.
Przykładem technologii, która do tej pory wykorzystała powyższy algorytm jest np. Erica [12].

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 zapotrzebowanie 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: jedną śledzącą wzrok, a drugą rejestrującą położenie głowy osoby badanej względem ekranu – tak, że na otrzymywany 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 na celu ułatwienie komunikacji chorych z komputerem. Zastosuje się do tego metodę eye-trackingu korzystającej ze światła dziennego - zwiększając w ten sposób dostępność oraz uniwer-

salność aplikacji.

Rozdział 3

Analiza projektowa

Rozdział poświęcony jest 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 C++

C++ jest powszechnie stosowanym językiem programowania, będącym potomkiem języka C. Wprowadzono w nim szereg udogodnień.C++, w porównaniu z 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 proponuje więcej styli programistycznych. Do wspieranych założeń programowania obiektowego należą polimorfizm, enkapsulacja i dziedziczenie. Nowsza wersja C - C++, posiada również bardzo dużą ilość bibliotek, których wykorzystanie znacznie ułatwia jego impletmentację. W skład klasy tego języka wchodzi plik wykonywalny (*.cpp) oraz nagłówkowy (*.h). W plikach nagłówkowych klas definiuje się wszystkie metody oraz zmienne. Głównymi powodami do tworzenia oddzielnych plików nagłówkowych są [13]:

- przyspieszenie czasu kompilacji programu. Pliki nagłówkowe nie wymagają re-kompilacji, o ile nie nastąpiła w nich zmiana, co skraca czas kompilacji w czasie rozwiania dużych projektów,
- organizacja struktury kodu,
- rozdzielenie interfejsów od implementacji.

Przykładowy plik nagłówkowy klasy ButtonOperator:

```
#ifndef BUTTONOPERATOR_H
#define BUTTONOPERATOR_H
using namespace std;
#include <QtWidgets>
#include <QStringList>



class ButtonOperator : public QPushButton
{
    Q_OBJECT

public:
   explicit ButtonOperator(QWidget *parent=0);
       void setDisplayList(QStringList sDisplayList);
    QStringList getDisplayList();
    void setSpecial(bool sIsSpecial);
    bool getSpecial();
    bool getHover();


protected:
    void hoverEnter(QHoverEvent *event);
    void hoverLeave(QHoverEvent *event);
    void hoverMove(QHoverEvent *event);
    bool event(QEvent *event);

private:
    bool isSpecial;
    bool isHovered;

    QStringList displayList;

};


#endif // BUTTONOPERATOR_H
```

Widać w nim jasno wydzielone sekcje modyfikatorów, typy zmiennych i metod oraz ich argumenty.

3.1.2 QT

QT jest zespołem przenośnych bibliotek oraz narzędzi programistycznych napisanych w C++ do tworzenia aplikacji desktopowych, zagnieżdżonych, a także mobilnych. Wspiera on takie systemy jak: Linux, OS X, Widows, xWorks, QNX, Android, iOS, BlackBerry, Sailfish OS i dzięki czemu jest nadzwyczaj uniwersalnym narzędziem kompatybilnym z następującymi językami programowania: C++,

QML (QT Modeling Language), Python, Ring, Go, Rust, PHP i Java. [14] [15] 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) [15];

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).

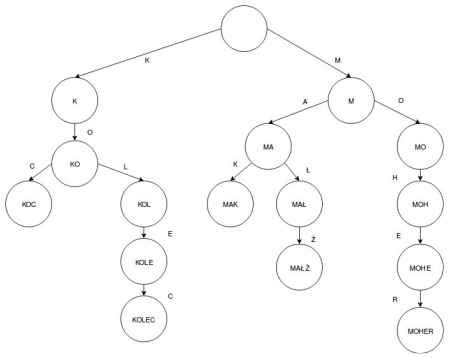
3.2.1 Architektura aplikacji

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

Zkompresowane Drzewo Trie

Drzewo Trie jest drzewem służącym docelowo do sortowania wartości danych tesktowych, w którym każdemu węzłowi przypisany jest wspólny prefix(fragment klucza). Wartości tekstowe zapisywane są w liściach drzewa. [16] 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 pożądany ciąg. Biorą 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. autouzupełnianie albo korektę słów bieżąco wpisywanych przez użytkownika.

Zastosowany algorytm wykorzystuje fakt występowania wspólnych węzłów i zapamiętuje jedynie numer ostatniego węzła związanego z wyszukiwanym słowem



Rys. 3.1 Przykładowe drzewo typu Trie.

np. dla frazy ”ko” - węzeł nr. 2, a następnie pobiera wartości wszystkich dzieci tego węzła, zespala je i tworzy wszystkie możliwe końcówki (tu ”c” oraz ”lec”), które w połączeniu z szukaną frazą dają ”autouzupełniane” słowa.

3.2.2 Komunikacja aplikacji

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

Broadcast

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. [17]

Google Custom Search

Google Custom Search umożliwia stworzenie własnej wyszukiwarki pozwalającej 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 Seachr Engine występuje w dwóch wersjach: darmowej - Custom Search Engine oraz płat-

nej - Google Site Search. Do potrzeb projektowych wystraczająca jest wersja darmowa, która pozwala na 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. [18]

3.3 Wymagania funkcjonalne

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

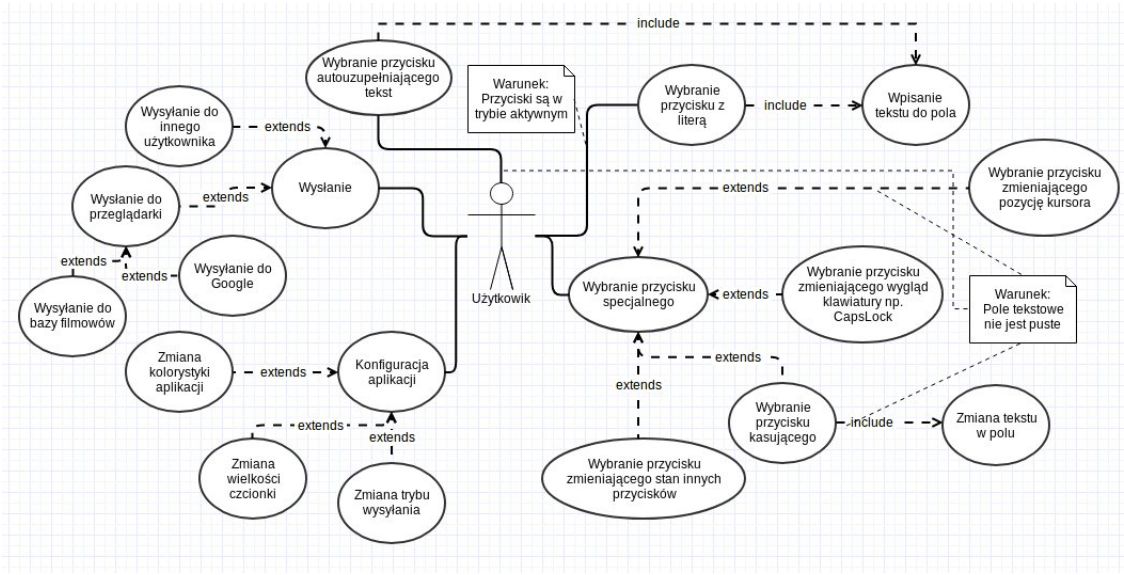
- Klawiatura ekranowa reagująca na sygnał wejściowy będący współrzędnymi punktu fiksacji, które określane są z dokładnością jednego stopnia. Zakładając, że odległość użytkownika od ekranu to 60 cm, wyliczono iż dokładność wyznaczania pozycji to obszar ok. 3,2 cm powierzchnii ekranowej. Dla komputera o ekranie 14 cal (monitor testowy), gdzie rozmiar pojedynczego piksela to ok. 0,2269 mm - to, w przybliżeniu, 141px dla każdego przycisku.
- Możliwość autouzupełniania 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 klawiatry zobrazowano w rozdziale "Przypadki użycia" 3.4.

3.4 Przypadki użycia

Na zamieszczonym rysunku 3.2 przedstawiono diagram przypadków użycia przedstawiający możliwe interakcje użytkownika z aplikacją.

Aby rozpocząć pracę z klawiaturą należy odblokować pisanie znaków wybierając przycisk *start*. Gówną funkcjonalnością, a zarazem najczęściej zachodzącym przypadkiem użycia będzie wybór przycisku z literą w celu wypisania tekstu na ekranie. Użytkownik ma do wyboru klawiaturę podstawową (z 28 znakami oraz cyframi z zakresu 0-9), 2 tablice przycisków ze znakami specjalnymi oraz jedną poświęconą jedynie polskim znakom. Każdy z przycisków reaguje na zmianę położenia punktu fiksacji - w momencie, w którym wykryte zostanie położenie nad przyciskiem naliczany zostaje czas, którego narastanie wizualizuje się za pomocą paska postępu. Gdy 100% postępu zostanie osiągnięte dana litera pojawia się na ekranie w przeznaczonym obszarze i w określonej, za pomocą kursora, pozycji w tekście. W przypadku, jeśli użytkownik zechce zmienić wielkość



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

liter może wybrać między opcją *CapsLock* (stałym powiększeniem liter wpisywanych), bądź *Shift* (zwiększającym kolejną literę dodaną do tekstu, następnie zmieniając wielkość liter na małe). W obu wypadkach następuję zmiana wyglądu całej klawiatury. Po tekście można poruszać się za pomocą strzałek - ruch w lewo (do początku tekstu) i prawo (na koniec tekstu) o jeden znak, lub specjalnych przycisków *home* oraz *end*, które przenoszą kursor odpowiednio na początek i koniec tekstu. Przyciski *Enter* oraz *Spacja* traktowane są jako zwykłe znaki. Fiksacja na przycisku Backspace usuwa ostatni wpisany znak, a na przycisku *czyść* wszystko co znajduje się w polu tekstowym. Wyróżnia się też innego rodzaju przyciski specjalne, zmieniające wygląd klawiatury. Są to przyciski do znaków specjalnych oraz polskich liter. Pierwszy z wymienionych w pierwszym kroku prezentuje wszystkie znaki specjalne powszechnego użytku np. wykrzyknik, cudzysłów, średnik, a przy powtórnym wciśnięciu na klawiaturze pojawiają się popularne emotikony, które znalazły tam swoje miejsce, ze względu na możliwość wysyłania wiadomości do innych użytkowników i mają za zadanie ułatwienie reprezentacji emocjonalego przekazu wiadomości. W przypadku, gdy użytkownik wpisał już jakiś fragment tekstu może posłużyć się jednym z przycisków podpowiedzi, które działają na zasadzie autouzupełniania tekstu na podstawie słów znalezionych w słowniku. Aby zmienić wygląd aplikacji lub tryb wysyłania należy skorzytać z przycisku *menu*. To pozwoli na wybranie schematu kolorystycznego aplikacji oraz wilekości czcionki. Użytkownik może wybrać również jeden z trzech trybów rozsyłania zapisanego przez siebie tekstu - są to: *Google Search*, *Filmweb* oraz *Broadcast* (w celu czatu).

3.5 Propozycja rozwiązania

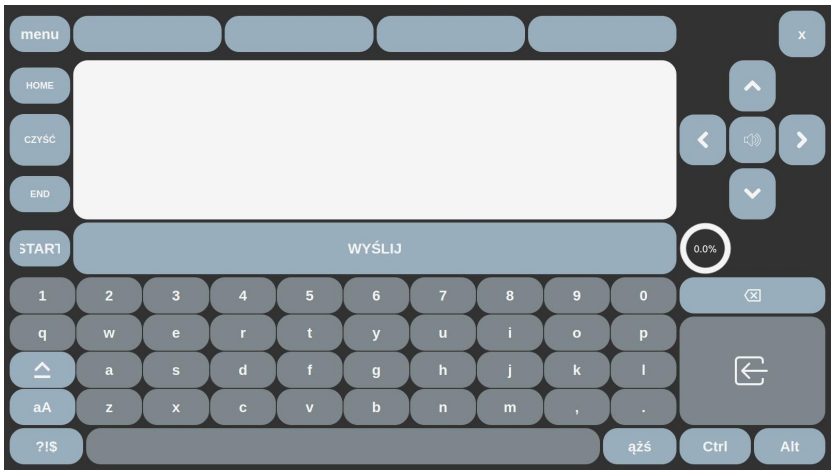
Jedną z możliwych propozycji rozwiązania, którą postanowiono zrealizować jest oprogramowanie komputerowe, które wyglądem przypominać powinno klawiaturę ekranową, czułą na pozycję kursora, z wbudowanym edytorem tekstu. Klawiatura ta powinna realizować żądanie użytkownika w zakresie wyżej wspomnianych wymagań funkcjonalnych tj. pisanie tekstu, wyszukiwanie treści w internecie oraz komunikacją z innymi użytkownikami poprzez broadcast. Co więcej, interfejs użytkownika powinien pozwolić na dostosowanie wyglądu do indywidualnych potrzeb. W wynniku pierwszej analizy powstał przedstawiony w podrodziale 3.5.1 prototyp oprogramowania.

3.5.1 Prototyp interfejsu oprogramownia

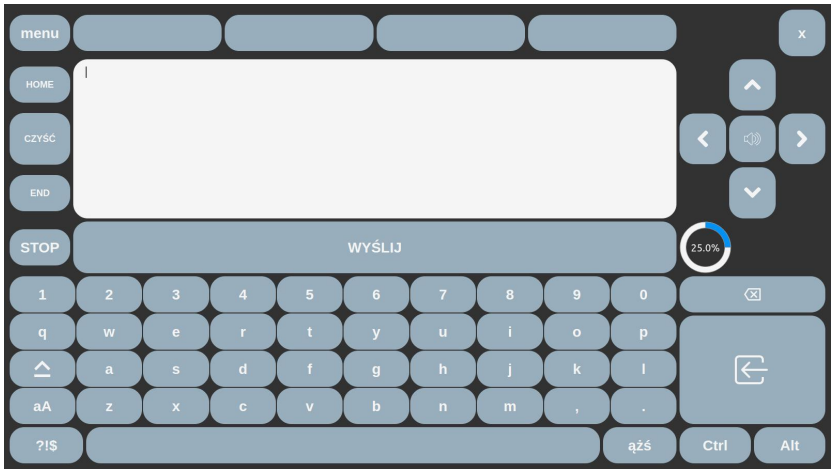
Tworząc prototy oprogramowania zwrócono szczególna uwagę na funkcjonalność interfejsu. Aplikacja otwiera się w trybie pełnoekranowym, tak by otrzymać maksymalny dostępny rozmiar elementów zawartych w interfejsie. Zamieszczono w nim opisane powyżej przyciski niezbędne do poprawnego działania programu. Użytkownik informowany jest o pozostałym czasie do wyboru przycisku poprzez zmieniający się pasek postępu.

Kolorystyka aplikacji została dobrana tak, by chory na stwardnienie boczne rozsiane mógl korzystać z niej nie męcząc oczu podczas długiego korzystania. Połączenie kolorów białego i niebieskiego daje wystaczający kontrast dla ludzkiego oka, by przy niewielkim wysiłku odczytać zapisany tekst. Nie można było zastosować interfejsów czarno-białych o najwyższym poziomie kontrastu ze wględu na to, iż obłe kształty przycisków w tych kolorach powodowały powstawanie złudzenia optycznego, które uniemożliwiało pracę na klawiaturze.

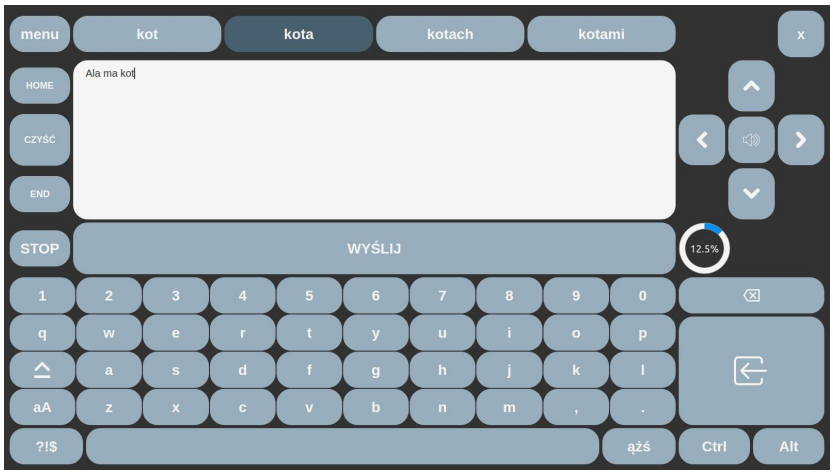
Pierwszym widokiem prezentowanym użytkownikowi jest widok z zablokowaną klawiaturą przedstawiony na rysunku 3.3. Zadbano o to, by przyciski w trybie "wstrzymania" przedstawione były w innym kolorze od przycisków aktywnych. Po użyciu przycisku *START* klawiatura zmienia swój wygląd na jednolity, taki jak na rysunku 3.4. Dalesze dwie grafiki 3.5 oraz 3.6 prezentują wpisywanie tekstu oraz wyświetlanie się możliwych opcji autouzupełnienia tekstu wpisywanego.



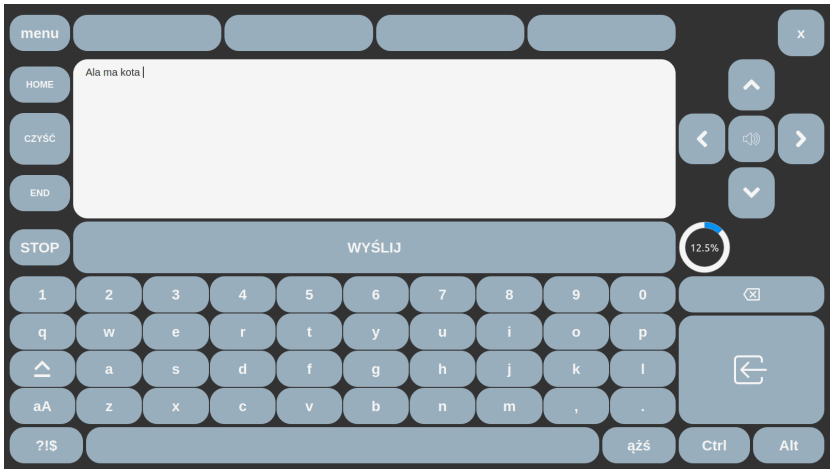
Rys. 3.3 Początkowy wygląd aplikacji z nieaktywnymi przyciskami.



Rys. 3.4 Aktywny wygląd aplikacji.



Rys. 3.5 Przykład wyświetlanych opcji autouzupełniania.



Rys. 3.6 Tekst i podpowiedzi po wybraniu sugerowanego tekstu.

3.6 Projekt testów

Podczas testowania aplikacji szczególą uwagę należy zwórcić na czas, jaki zajmuje użytkownikowi wprowadzenie tekstu do edytora za pomocą klawiatury ekranowej, przydatność udogodnień typu autouzupełnianie słów oraz subiektywne odczucia osób badanych. W związku z tym zaplanowano następujący przebieg testów:

1. Pomiar czasu wprowadzania tekstu numer 1 do edytora tekstu za pomocą klawiatury komputerowej.
2. Pomiar czasu wprowadzania tekstu numer 2 do edytora tekstu za pomocą klawiatury ekranowej.
3. Pomiar czasu wprowadzania tekstu numer 1 do edytora tekstu za pomocą klawiatury ekranowej.
4. Pomiar czasu wprowadzania tekstu numer 2 do edytora tekstu za pomocą klawiatury komputerowej.
5. Pomiar czasu wprowadzania dowolnego tekstu o określonej tematyce do edytora tekstu za pomocą klawiatury ekranowej.

W celu popranego przebiegu testów należy przyjąć pewne założenia:

- osoby testowane nie będą miały możliwości wcześniejszego zapoznania się z treścią wpisywanych tekstów, ani nie będą znały tematu ostatniego z punktów testu,
- osoby testowane piszą obcym sobie komputerze, by nie znały układu klawiszy komputerowych,
- testujący do wprowadzania danych na klawiaturze ekranowej wykorzystywać będą myszy komputerowej (odrzucamy czynnik braku umiejętności pracy z nowym sprzętem),
- każda z osób testowanych, przejdzie krótkie szkolenie z zakresu działania klawiatury ekranowej,
- w czasie pomiaru czasu zapisywana będzie również ilość wykorzystywanych podpowiedzi tekstu w celu określenia ich skuteczności,
- pod koniec testów z każdym z badanych przeprowadzona będzie rozmowa na temat jego subiektywnych wrażeń podczas pracy z klawiaturą.

3.7 Możliwość dalszego rozwoju

Przewidziano możliość dalszego rozwoju aplikacji wprowadzając do prototypu przyciski, których działania nie obsłużono. Są nimi *Ctrl*, *Alt* oraz *Tekst to Speech*. Dwa pierwsze przewidziane zostały w celu współpracy z programami zewnętrznymi oraz wprowadzenia skrótów klawiszowych (np. Ctrl+A, Ctrl+V,

Ctrl+C, Ctrl+X). Należy pamiętać, że użytkownikami klawiatury są często osoby starsze, które przed zachorowaniem miały już styczność z pracą na komputerze. Wprowadzenie znanych im skrótów, czy funkcjonalności może usprawnić ich pracę z komputerem. Bardzo ważnym aspektem oferowanym przez innych producentów oprogramowania dla osób spraliżowanych, bez możliwości komunikacji werbalnej jest TextToSpeech, czyli synteza mowy na postawie tekstu. Tak zsyntetyzowana ścieżka dźwiękowa z wprowadzoną wypowiedzią mogłaby zostać odtworzona poprzez głośniki urządzenia i umożliwić werbalną komunikację z innymi osobami.

3.8 Wymagania pozafunkcjonalne

Podstawowymi wymaganiami pozafunkcjonalnymi są:

- komputer lub urządzenie mobilne z systemem operacyjnym Linux, bądź Windows,
- mysz komputerowa lub specjalne okluary do eye-trackingu,
- dwa monitory do pracy z internetem,
- 4GB pamięci RAM,
- min. 3,5 GB wolnej pamięci,
- monitor o rozdzielczości nie mniejszej niż 14 cal.

3.8.1 Ograniczenia

Ze względu na ograniczoną powierzchnię ekranową nie udało się zrealizować przycisków o minimalnych wymiarach 140px x 140px.

3.9 Podsumowanie

Rozdział ten stanowi analizę techniczną zaplanowanego oprogramowania. Tłumaczy jego działanie oraz opisuje przewidziane technologie. Przedstawiono przewidywane wymagania funkcjonalne oraz wynikające z analizy sprzętowej wymagania pozafunkcjonalne. Dokładnie omówiono przypadki użycia aplikacji oraz oferowane funkcjonalności. Poświęcono także podrodział, by omówić ewentualne możliwości rozwoju aplikacji w celu jej udoskonalenia, które nie są celem tego projektu.

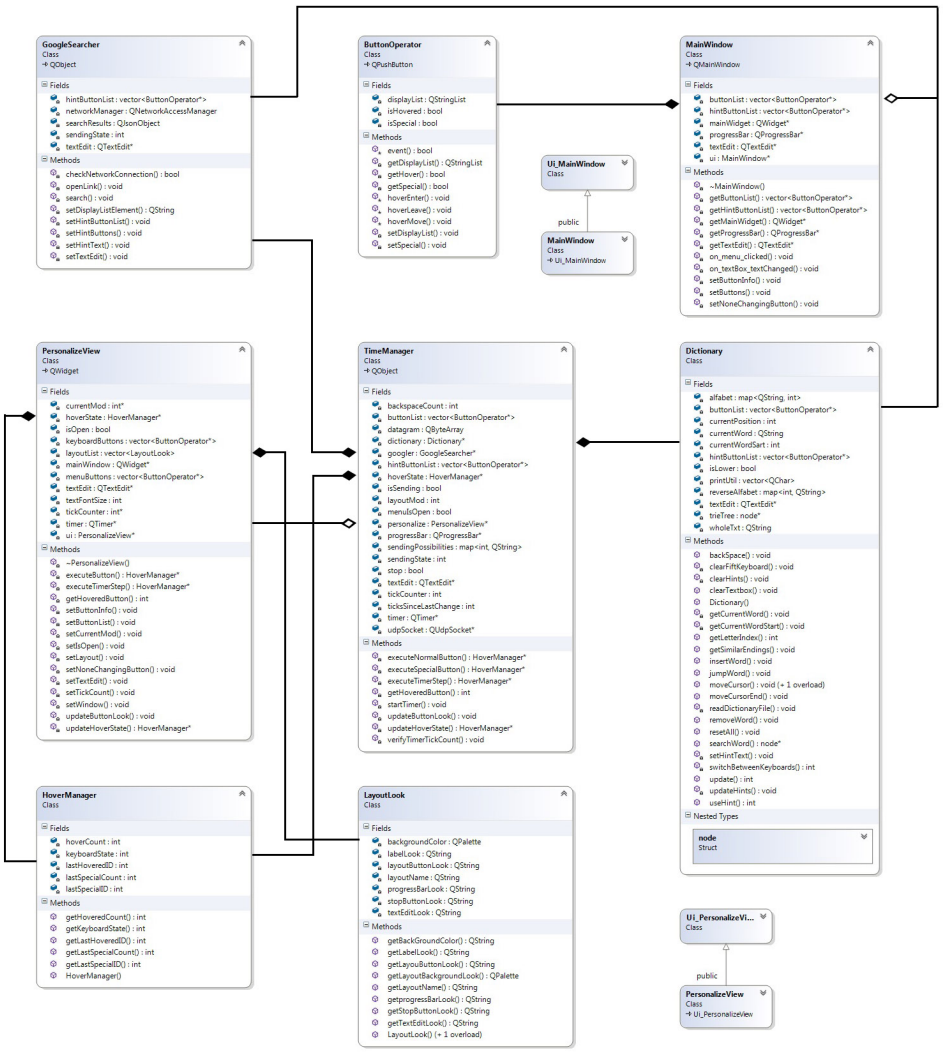
Rozdział 4

Implementacja

W aplikacji, wykorzystującej wyżej wymienione technologie, stworzono: 8 klas w języku C++ wraz z odpowiadającym im plikom nagłówkowym, dodatkowy plik zawierający stałe programowe oraz 2 widoki.

4.1 Diagram klas

Na rysunku 4.1 przedstawiono poglądowy diagram klas wraz z ich zależnościami. Opis klas oraz zastosowanych algorytmów zawarto w podrodziałach 4.2 oraz 4.3.



Rys. 4.1 Poglądowy diagram klas zaimplementowanych w projekcie.

4.2 Opis zastosowanych klas

Klasami użytymi w programie są: ButtonOperator, Dictionary, GoogleSearcher, HoverManager, LayoutLook, MainWindow, PersonalizeView, TimeManager. Dla każdej z nich można określić główną funkcję. Zestawienie to przedstawiono w tabeli 4.1.

Nazwa klasy	Funkcja w programie
ButtonOperator	Klasa dziedzicząca po QPushButton (wewnętrzna klasa biblioteki QT) odpowiedzialna za działanie przycisków w projekcie.
Dictionary	Klasa zajmująca się pracą ze słownikiem, a także zarządzaniem wprowadzonym tekstem. Kontruktor przyjmuje wskaźnik na pole tekstowe, listę wskaźników na wszystkie działające przyciski oraz listę wskaźników na przyciski odpowiedzialne za podpowiedzi. Klasa posiada również strukturę "node", która stanowi podstawowy element budulcowy dla słownika. Więcej na ten temat w podrozdziale 4.3.3.
GoogleSearcher	Klasa zajmująca się komunikacją programu z internetem, obsługą żądania GET oraz przetworzeniem odpowiedzi. Więcej na ten temat w podrozdziale 4.3.5.
HoverManager	Klasa nadzorująca działanie przycisków. Obiekty przechowują informację o: ID przycisku ostatnio fiksowanego, ID ostatnio wybranego specjalnego przycisku, czasie fiksacji wzorku na jednym przycisku, czasie działania specjalnego przycisku. Więcej o przyciskach i ich działaniu w podrozdziale 4.3.1.
LayoutLook	Klasa przewidziana z myślą o dynamicznej zmianie wyglądu aplikacji przez użytkownika w oknie menu. Obiekty klasy zebrane w listę w klasie PersonalizeView przechowują komplet danych dotyczących jednego wyglądu. W skład tego wchodzą: nazwa wyglądu, wygląd przycisków zapisany przy pomocy kaskadowego arkusza styli, paletę zmieniającą kolor tła okien, arkusz styli dla paska postępu, podpisy oraz wygląd przycisków w trybie zablokowanym.
MainWindow	Gówna klasa projektu odpowiedzialna za komunikację interfejsu z resztą klas.
PersonalizeView	Klasa odpowiedzialna za obsługę wszystkich zdarzeń związanych z oknem menu, tzn. zmianą wyglądu aplikacji, zmianą wielkości czcionki, zmianą czasu progowego fiksacji.
TimeManager	Rozbudowana klasa będąca głównym zarządcą procesów zachodzących w aplikacji dzięki umiejętności pracy z regulatorem czasowym (timer).

Tab. 4.1 Tabela przyporządkowania głównych funkji klasom projektu.

4.3 Zaimplementowane algorytmy

W poniższych podrozdziałach zaprezentowano zasadę działania zaimplementowanych w oprogramowaniu algorytmów.

4.3.1 Działanie przycisków

W aplikacji każdy przycisk jest obiektem klasy ButtonOperator, która dziedziczy po klasie QPushButton. Dzięki czemu obiekty przycisków mogą korzystać zarówno z metod klasy nadrzędnej np. isCheckable(), jak i klasy dziedziczącej. Właśnie dzięki nadpisaniu metod domyślnych klasy QPushButton - hoverEnter() i hoverLeave() stworzono możliwość detekcji, nad którym przyciskiem aktualnie znajduje się punkt fiksacji wzroku. Podczas wywołania obu metod zmieniana jest wartość logiczna zmiennej isHovered aktualnie obserwowanego przycisku. Prócz informacji o tym, czy dany przycisk jest aktualnie używany przechowuje się również dane o tym, czy przycisk zalicza się do tzw. "specjalnych", czy też nie, jak i listę dostępnych dla niego tekstów do wyświetlania – wyglądów przycisku dla 6 stanów klawiatury (małe litery, duże litery, znaki specjalne karta pierwsza, znaki specjalne karta druga, polskie litery, menu kontekstowe). Wszystkie te dane wprowadza się podczas uruchamiania klawiatury i wtedy także przypisuje się przyciski kolejno do specjalnej listy. Kolejność jest znacząca w przypadku przycisków "specjalnych", gdyż ich obsługa zależna jest od wartości ich ID zapisanego w pliku ze stałymi. Określenie przycisku działającego odbywa się poprzez sprawdzenie jego ID, którego zmienna isHovered jest prawdziwa w klasie TimeManager. Do zarządzania stanem klawiatury, ostatnio wybranym przyciskiem specjalnym oraz ostatnio obserwowanym przyciskiem powstała klasa HoverManager. Zbiera ona na bieżąco informację o ID przycisku ostatnio najechanego, o tym przez jaki czas dany przycisk jest już pod punktem fiksacji, o aktualnym stanie klawiatury, o ostatnio wybranym specjalnym przycisku (np. CapsLock) oraz przez jaki czas działanie tego przycisku się utrzymuje. Większość z tych danych odświeżana jest co 200ms (stała zdefiniowana w pliku ze stałymi) podczas każdego wykonywania się metody TimerStep(). Jej działanie przedstawiono za pomocą pseudokodu 1.
Zadaniem wyżej wspomnianej funkcji executeTimerStep() jest sprawdzenie, czy dany przycisk był fiksowany przez odpowiednią ilość czas (zmienna, której wartość zależy od ilości pomyłek popełnionych przez użytkownika, jest dynamicznie zmieniana podczas korzystania z klawiatury – analizowane to jest w funkcji verifyTimerTickCount()). Jeżeli warunek ten został spełniony to dalszy przebieg działań zależy od tego, czy przycisk był specjalny, czy też nie oraz czy klawiatura nie znajduje się w trybie wstrzymania.

Działanie przycisków specjalnych

W tabeli 4.2 wymieniono wszystkie specjalne przyciski z widoku klawiatury oraz opisano po krótce algorytm ich działania. W tabeli 4.3 przedstawiono przyciski widoku menu oraz ich zachowanie.

Jako wciśnięcie rozumie się tu czas fiksacji nad przyciskiem przekracający progową wartość. Stany klawiatury to odpowiednio 0-małe litery, 1-wielkie

Nazwa przycisku	Działanie
Backspace	Wywołuję metodą backspace() klasy Dictionary, której działanie opisano w podrozdziale 4.3.2.
CapsLock	W przypadku pierwszego wciśnięcia zmienia stan klawiatury z 0 na 1 i utrzymuje ją dopóki nie zostanie wybrany po raz wtóry lub wykonana zostanie czynność innego przycisku zmieniającego stan klawiatury.
Czyść	Korzysta z metody resetAll() klasy Dictionary i powoduje czyszczenie edytora tekstowego oraz z nim związanych zmiennych jak currentPosition, currentWord, currentWordSart, wholeTxt (więcej na ten temat w rozdziale 4.3.2).
Menu	Otwiera okno klasy Personalize.
Przesuń się o jedno słów w prawo lub w lewo	Wywołuje funkcje jumpWord() klasy Dictionary, która powoduje przesunięcie się kursora na koniec poprzedniego słowa, lub na początek kolejnego. Każdorazowo zmieniana jest wartość zmiennej currentWord i wholeText. 4.3.2
Przesuń się w kierunku początku tekstu (home) lub na jego koniec (end)	Wybranie przycisku powoduje przesunięcie się kursora w jednym z dwóch kierunków oraz zmiane wartości zmiennej wholeText i currentWord (4.3.2).
Przyciski podpowiedzi	Wyświetlane są na nich podpowiedzi, których tworzenie opisane jest w rodziale 4.3.3. Ich użycie powoduje zastąpienie aktualnie wpisywanej frazy autouzupełnionym słowem pobranym ze słownika.
Shift	W przypadku wciśnięcia zmieniony zostaje stan klawiatury z 0 na 1, a po użyciu przycisku ze znakiem stan klawiatury wraca do stanu 0.
Stop i start	Wprowadza klawiaturę w stan wstrzymania lub w stan pracy. W zależności od wartości zmiennej isStop jest możliwe, lub nie, korzystanie z przycisków ze znakami.
Strzałka w lewo i prawo	Korzystając z metody moveCursor klasy Dictionary przemieszcza kursor o jeden znak w danym kierunku. Może zmienić wartość currentWord (4.3.2) korzystając z metod getCurrentWord() oraz getCurrentWordStart()(2) opisanych w późniejszych rozdziałach.
Wyjdź	Powoduje opuszczenie aplikacji.
Wyszukaj na podanej platformie	Przyciśniecie przycisku powoduje sprawdzenie połączenia internetowego, a następnie wysłanie wpisanej treści pola tekstowego do funkcji search() klasy GoogleSearcher. 4.3.5
Wyślij	Wysyła dotychczas wpisany tekst na broadcast na port 45454 za pomocą metody writeDatagram() klasy QUdpSocket.
Zmiana trybu wyszukiwania	Strzałki powodują na zmianę trybu wyszukiwania. Do wyboru ”Google”, ”YouTube”, ”Filmweb”. Zmieniają wartość zmiennej sendingState niezbędnej do popranego działania funkcji search() klasy GoogleSearcher. 4.3.5
Znaki specjalne	Zmienia stan klawiatury na odpowiednio 2 i 3 przy kolejnych kliknięciach.

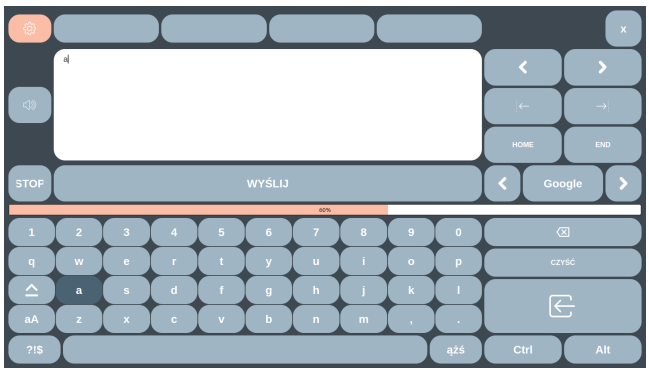
Tab. 4.2 Lista specjalnych przycisków wraz z ich działaniem.

Algorithm 1 Działanie funkcji TimerStep()

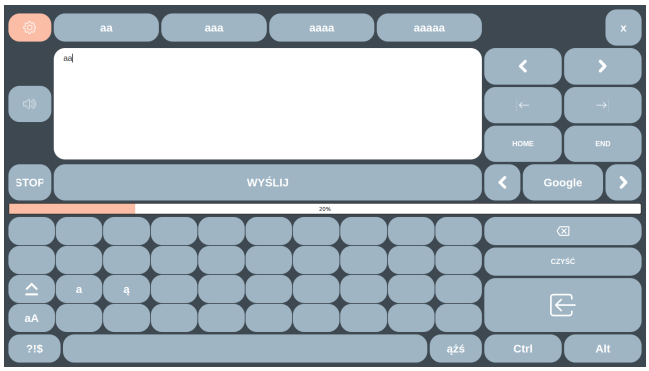
```
pobierz ID aktualnie fiksowanego przycisku
if pobrane ID różne jest od -1 then
  if zwykłe przyciski są w trybie wstrzymania then
    if jeśli aktualnie fiksowany przycisk jest specjalny then
      hoverState (obiekt klasy HoverManager) ustaw aktualnie aktywny
      przycisk na pobrane ID
      Wykonaj krok timera (funkcja executeTimerStep())
      Pokaż czas przez jaki przycisk jest fiksowany na pasku postępu dla
      informacji użytkownika.
    end if
  else
    Wykonaj powyższe funkcje dla wszystkich przycisków - niezależnie od
    tego, czy są specjalne, czy nie.
  end if
end if
Wywołaj funkcję verifyTimerTickCount().
```

Nazwa przycisku	**Działanie**
Strzałki zmieniające aktualną wartość progową czasu fiksacji	Strzałki powodują zmniejszenie lub zwiększenie wartości zmiennej tickCounter przechowującej ilość 200ms interwałów, po upływie których (w przypadku braku zmiany fiksowanego punktu) przycisk można uznać za wciśnięty. Początkowo czas ten wynosi 3s, jednak w wyniku dynamicznej korekty następuje zmniejszenie lub zwiększenie liczby tych interwałów. Korekta uruchamia się, gdy użytkownik przekroczy dopuszczalną ilość błędów w ciągu minuty. Więcej na temat dynamicznej zmiany czasu w podrozdziale 4.3.4.
Strzałki zmieniające wielkość czcionki w edytorze tekstu	Strzałki powodują zamianę właściwości edytora tekstu.
Strzałki zmieniające wygląd aplikacji	Użytkownik może wybrać między jednym z 5 wersji kolorystycznych poprzez dynamiczną zmianę wyglądu na podstawie danych z listy i aktualnego indeksu.
Wyjście	Powoduje zamknięcie okna menu.

Tab. 4.3 Lista specjalnych przycisków z menu w raz z ich działaniem.



Rys. 4.2 Widok aplikacji z klawiatura w stanie zerowym po wpisaniu litery 'a'.



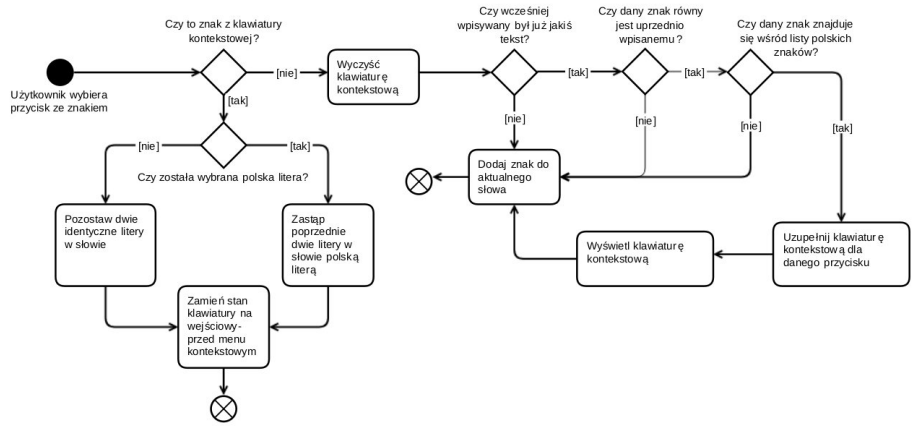
Rys. 4.3 Widok aplikacji z klawiaturą w stanie piątym po wpisaniu drugiej litery 'a'.

litery, 2-znaki specjalne strona pierwsza, 3-zanki specjalne strona druga, 4-polskie znaki, 5-menu kontekstowe dla polskich znaków.

Działanie przycisków nomalnych

Za wpisywanie znaków z klawiatury do edytora odpowiedzialna jest funkcja - update() klasy Dictionary. Jest ona głównym zarządcą jeśli chodzi o wprowadzanie znaków w odpowiedniej pozycji. W pierwszej kolejności sprawdzane jest, czy stan klawiatury różny jest od stanu piątego (menu kontekstowe). Gdy spełniony jest dany warunek to porównywana jest aktualnie wprowadzana wartość z uprzednio wprowadzoną. Wyjątek stanowi pierwsze wprowadzenie znaku do edytora. W przypadku dwóch identycznych liter czyszczona jest zawartość piątego stanu klawiatury i przechodzi się do wywołania funkcji switchBetweenKeyboards(), która zwraca informację o tym, czy stan klawiatury się zmienił. Tam sprawdzane jest, czy wprowadzony znak jest jedną z liter posiadających polskie odpowiedniki tj. *a-ą, c-ć, e-ę, l-ł, n-ń, o-ó, s-ś, z-ż-ź*. Gdy znajdzie się on wśród wymienionej listy, to dla odpowiadającego przycisku ustawiany jest test dla klawiatury stanu piątego i następuje jej wyświetlenie. Działanie takiego zachowania widać na rysunkach 4.2, 4.3.
W innym wypadku aktualna litera dopisywana jest do aktualnie tworzonoego

słowa (currentWord), kursor przesuwany jest o jedną pozycję w prawo. Gdy dodana jest spacja aktualnie przetwarzane słowo jest uznawane za skończone i zapamiętywany jest nowy początek kolejnego słowa. Odświeżony zostaje również widok podpowiedzi, których powstawanie omówiono w późniejszym rozdziale 4.3.3. W sytuacji, gdy wybrana zostaje litera z menu kontekstowego (klawiatury w stanie piątym), to albo wpisany tekst zostaje podmieniony na polską literę,lub nie ulega zmianie. Przykładowo po wpisaniu ”aa” użytkownik po raz kolejny wybiera literę ”a” - tzn. planował wpisanie frazy ”aa”. Jeśli jednak decyduje się na literę ”ą”, to w miejsce widniejącego napisu ”aa” pojawia się ”ą”. Poglądowy diagram przepływu przedstawiono no rysunku 4.4.

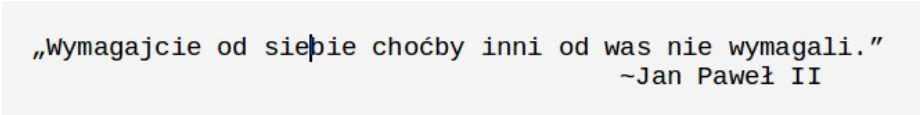


Rys. 4.4 Widok aplikacji z klawiaturą w stanie piątym po wpisaniu drugiej litery ’a’.

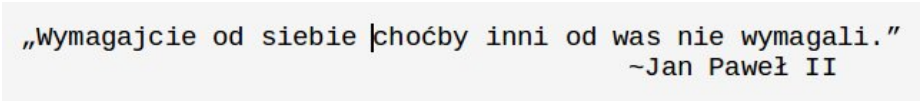
4.3.2 Praca z tekstem

Wpisywanie tekstu w aplikacji odbywa się poprzez specjalny algorytm kontrolujący zawartość aktualnie pisanego słowa oraz całego tekstu. W czasie działania programu, w pamięci przechowywany jest currentWord, czyli aktualne słowo tj. ciąg znaków, liter lub cyfr, które zaczynają się na początku wpisywanego tekstu lub po spacji, a kończą się w pozycji kursora. Dodanie spacji po ciągu znaków kończy słowo i usuwa je ze zmiennej currentWord, a dodaje do zmiennej zwanej wholeText, która przechowuje dotychczas wpisany tekst. Przykładowo jeśli mamy tekst jak na rysunku 4.5 to w zmiennej wholeText przechowywujemy ””Wymagajcie od siebie choćby inni od was nie wymagali.” Jan Paweł II ”, a w currentWord ”sie”. W ten sposób podpowiedzi generowane będą jedynie dla cząstki ”sie”, a tekst wpisywany będzie w pozycji kursora, która również monitorowana jest przez zmienną currentPosition. Scalenie wholeText i currenWord następuję, gdy zmieniamy pozycję kursora strzałkami, lub jeśli do tekstu dodana zostanie spacja, a za kursorem nie znajduje się żaden znak. Przykład przedstawia rysunek 4.6.

Zmienna currentWord została zespolona z wholeText poprzez wklenie jej na



Rys. 4.5 Przykładowe zapisywanie tekstu do zmiennych w zależności od pozycji kursora.



Rys. 4.6 Przykładowe zapisywanie tekstu do zmiennych w zależności od pozycji kursora.

pozycji zapisanej jako currentWordStart. W celu dynamicznego ustalania pozycji currentWordStart oraz zawartości currentWord powstały funkcje: getCurrentWordStart() oraz getCurrentWord(). Działanie pierwszej zademonstrowano za pomocą pseudokodu 2.

Algorithm 2 Działanie funkcji getCurrentWordStart()

```
if currentWord nie jest pusty && currentPosition nie jest na początku tekstu
then
  for każda pozycja aż do początku tekstu do
    pobierz literę z wholeText w danej pozycji
    if pobrana wartość nie jest liczbą ani literą then
      currentWordStart = danapozycja + 1
    end if
  end for
end if
```

Działanie drugiej sprowadza się do wycięcia faragmentu tekstu między currentWordStart, zaimplementowanym w wyniku działania poprzedniej funkcji, a currentPosition.

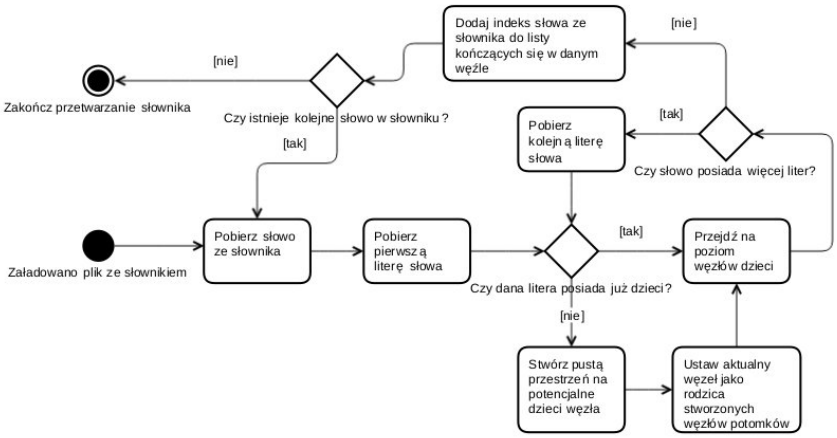
Usuwanie znaków

Proces usuwania znaków staje się trudniejszy ze względu na ułatwiające kontrolę nad tekstem currentWord i wholeText. Pierwszym napotkanym problemem była sytuacja, w której currentWord jest puste. W takim wypadku należy usunąć znak znajdujący się w currentPosition ze zmiennej wholeText, a następnie za pomocą wcześniej opisanych funkcji getCurrentWordStart() oraz getCurrentWord() otrzymać informację o nowej wartości currentWord. Kolejnym krokiem jest wycięcie wartości zmiennej currentWord z wholeText, przesunięcie kursora dla informacji użytkownika w odpowiednią pozycję oraz odświeżenie wyglądu podpowiedzi. Gdy currentWord ma wartość, sytuacja upraszcza się do usunięcia ostatniego znaku z currentWord. W celu reprezentacji tekstu dla użytkownika należy scalić wholeText z currentWord, ale by nie utracić wartości wholeText stworzono tymczasową zmienną currentText, który zawiera całą treść wpisanego

tekstu.

4.3.3 Trie tree

Jak wyżej 3.2.1 wspomniano, w pracy wykorzystano drzewo typu Trie w celu pracy z rozległym słownikiem. Słowa z pliku w formacie TXT wczytywane są do programu podczas uruchamiania klawiatury- każda z linii dostarczanego pliku powinna stanowić pojedynczy wyraz. Słowa te, za pomocą sztucznie wygenerowanych list kodujących oraz dekodujących polski alfabet, wprowadzane są do drzewa typu Trie. Drzewo takie powstaje poprzez stworzenie pustego węzła typu node - struktury zadeklarowanej w pliku nagłówkowym klasy obsługującej współpracę ze słownikiem – Dictionary. Struktura node przechowuje informacje o rodzicu bieżącego węzła, o jego potomkach – czyli węzłach następujących oraz wektor zawierający informację o przynależności danego węzła literowego do słowa. Po zainicjowaniu węzła zerowego, po kolei analizowane są słowa ze słownika w funkcji insertWord().Każde jest rozpatrywane jako tablica liter (char) i iteracyjnie następuje najpierw kodowanie litery na odpowiadający jej indeks (za pomocą mapy alfabet), potem, sprawdzane jest, czy w drzewie nie istnieje już węzeł odpowiadający danej wartości. Gdy nie znaleziono gałęzi drzewa pasujących do poszukiwanej wartości tworzy się za pomocą funkcji calloc przestrzeń w pamięci na przyszłe dzieci tego węzła, a jako ich rodzica podaje się aktualnie przeglądany węzeł z literą. Kolejno, niezależnie od wyniku uprzednio rozpatrywanego warunku, o ile słowo wciąż posiada litery do przeglądu, przenosi się o poziom niżej w drzewie (na poziom dziecka uprzednio rozpatrywanej litery) i proces zachodzi od początku. Gdy przetworzono wszystkie litery słowa do listy wystąpień ostatniego odwiedzonego węzła dopisany zostaje indeks słowa w słowniku – tym samym oznaczając jego koniec. Na rysunku 4.7 przedstawiono, w sposób graficzny, działanie danej funkcji.

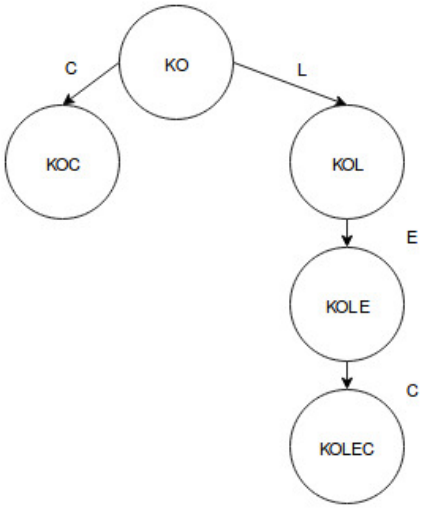


Rys. 4.7 Diagram przepływu dla funkcji insertWord() wprowadzającej słowa do drzewa typu Trie.

Po uzupełnieniu słownika nastąpić może autouzupełnianie wpisywanego tek-

stu. Każde wpisanie litery powoduje wywołanie metody updateHints(), która jest odpowiedzialna za tworzenie oraz wyświetlanie podpowiedzi, zgodnie
z wprowadzonym do tej pory słowem. Jako poszukiwaną frazę traktujemy ciąg znaków, które użytkownik wpisał do pozycji kursora od ostatniej spacji, bądź początku tekstu. W wypadku, gdy ten ciąg znaków jest dłuższy niż dwa, wykorzystywana jest funkcja komunikująca się ze stworzonym słownikiem – searchWord(). Przekazywane jest drzewo Trie słownika oraz aktualnie poszukiwana fraza (bez formatowania). Wpisywana fraza, również traktowana jest jako zbiór liter, które przeglądane są jedna po drugiej. Dla każdej następuje zmiana dzięki mapie kodującej alfabet na odpowiadający indeks, który umożliwia przeszukiwanie słownika. Sprawdzane jest, czy istnieje potomek drzewa Trie o danym indeksie – jeśli tak, to następuje zmiana węzła na węzeł dziecka, tak, że przy przeszukiwaniu drzewa będą brane pod uwagę jedynie węzły z rodzicem będącym pierwszą literą poszukiwanej frazy. Gdy przeszuka się wszystkie litery, bądź w trakcie tego procesu zabraknie węzłów potomków dla danej kombinacji liter to zwracany jest odpowiednio ostatni węzeł wspólny dla danej frazy lub też węzeł pusty.

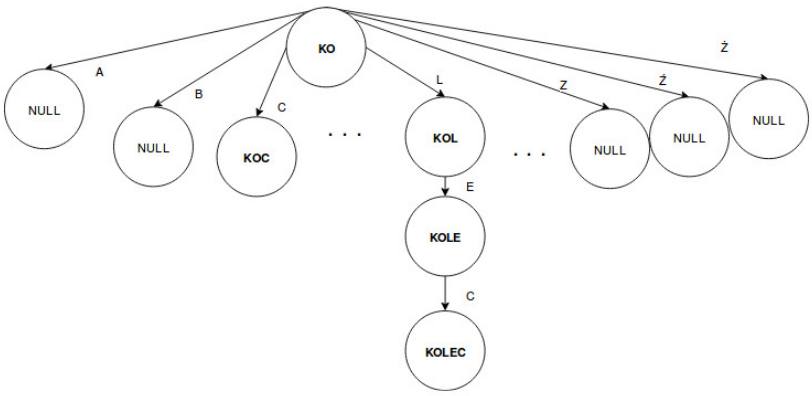
W celu lepszego zrozumienia działania algorytmu rozpatrzmy go na przykładzie. Załóżmy, że mamy drzewo takie jak na rysunku 3.1. Jeśli wyszukamy frazę ”ko” to funkcja zwróci nam węzeł i jego dzieci. Możliwe autouzupełnienia wyglądają wtedy tak jak na rysunku 4.8. Złożenie końcówek wyrazów zachodzi w



Rys. 4.8 Przykładowy węzeł do autouzupełniania słów po wpisaniu frazy ”ko”.

funkcji getSimilarEndings(), której przekazywany jest znaleziony węzeł, pusty wektor, do którego mają zostać zapisane wynikowe wyrazy oraz węzeł znaków niezbędny do dekodowania. W pierwszym kroku sprawdzane jest, czy w danym węźle kończą się jakieś słowa, jeśli tak (wektor wystąpień węzła jest różny od zera),
to każdą literę zapisaną w wyżej wymienionym wektorze znaków zapisuje się do jednego słowa (tworząc końcówkę do autouzupełniania). Gotowy ciąg znaków zapisywany jest do wektora z końcówkami. W wypadku pierwszego wyko-

nania się funkcji mamy do czynienia z pustym wektorem znaków- toteż nie zostanie stworzona żadna końcówka. Nawet jeśli ''ko" było pełną formą słowa nie powinna się ona wyświetlać w proponowanych opcjach użytkownika. Aby uzupełnić wektor znaków należy przejrzeć przesłany węzeł (ten z rysunku 4.8) – w tym celu sprawdza się, czy dzieci węzła odpowiadającej każdej literze alfabetu nie są puste, gdyż programowe drzewo ma, prócz wcześniej przedstawionych gałęzi, jeszcze 33 (zakładając, że zaimplementowany alfabet posiada 35 liter) nieobdarzone wartością gałęzie przedstawione na rysunku 4.9. Gdy znaleziono element o niezerowej wartości pobierana jest za pomocą mapy symetrycznej (reverseAlfabet) wartość literowa węzła i wprowadzana jest do wektora znaków. Węzeł z ''ko" zmieniany jest w węzeł pierwszego pierwszego dziecka – w tym wypadku ''koc". Następnie przez rekurencję ponownie rozpoczyna się sprawdzanie, czy dane słowo kończy się w tym węźle. Jeśli tak, to proces zachodzi według powyżej opisanych kroków, jeśli nie, to znów poszukiwany jest węzeł potomny z kolejną literą końcówki słowa do autouzupełniania. Algorytm przedstawiono w sposób graficzny na rysunku 4.10

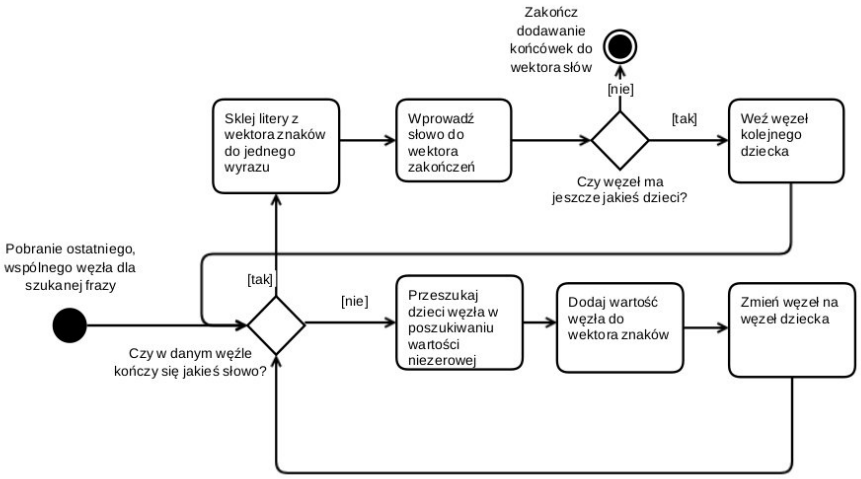


Rys. 4.9 Reprezentacja przykładowego węzła widzianego w programie.

Ostatnim krokiem w stworzeniu podpowiedzi jest skrócenie listy końcówek do liczby przycisków przeznaczonych na podpowiedzi oraz zespolenie ich z dotychczas wpisanym słowem. Taki ciąg znaków można przedstawić użytkownikowi jako napis na przycisku, który po wybraniu wpisuje reprezentowany tekst do pola tekstowego zamieniając dotychczasową frazę na wybraną oraz dodając znak spacji na końcu nowowybranego słowa.

4.3.4 Dynamiczna zmiana czasu progowego fiksacji

Jak wspomniano wcześniej klawiatura umożliwia dynamiczną zmianę czasu czasu progowego fiksacji (decydującego o tym kiedy dany przycisk zostanie wywołany). Zmiana następuję w oparciu o ilość błędów wykonanych przez użytkownika w określonym oknie czasowym. Weryfikacja następuję co minutę. Jeśli w tym czasie użytkownik popełni 5 lub więcej błedów (użyje przycisku Backspace), to czas fiksacji ulegnie wydłużeniu o jedną sekundę. Pięć błedów stanowi, dla ustawień początkowych, czyli progowego czasu fiksacji ustawionego na 3s, 25% znaków wpisanych w tym czasie. Dla ilości błędów mniejszej niż dwa czas fiksacji zostaje



Rys. 4.10 Diagram przepływu dla funkcji getSmiliarEndings().

skrócony. Jeśli użtkownik użyje przycisku Backspace 3-4 razy w ciągu minut czas progowy fiksacji nie ulegnie zmianie. Czas fiksacji został ograniczony obustronnie poprzez stałe z pliku const.h. Założono, że nie może on być krótszy niż 1s i dłuższy niż 6s. Użytkownik ma również możliwość manualnego ustawienia czasu progowego, poprzez zmianę wartości w oknie menu.

4.3.5 Korzystanie z wyszukiwarki internetowej

W celu pracy z przeglądarką niezbędne jest podłączenie drugiego ekranu, na którym może się otwierać okno przeglądarki. W innym wypadku okno klawiatury ulegnie minimalizacji i nie ma możliwości powrotu do okna.

W przypadku skorzystania z jednego z trybów wysłania (”Google”, ”YouTube”, ”Filmweb”) wywoływana jest metoda, GoogleSearcher, search(). W zależności od przesłanej wartości sendingState, informującego o tym, gdzie wysłane ma być zapytanie, do wyszukiwanego tekstu (pobranego z pola tekstowego) dołączana jest informacja, w którym serwisie szukać wyników. Taka informacja załączana jest jako argument uzupełniający URL powstały przez stworzenie spersonalizownej wyszukiwarki, dzięki specjalnemu Google API. Następnie obiekt klasy QNetworkAccessManager wywołuję metodę RESTową GET na obiekcie klasy QNetworkRequest, który za argument konstruktora przyjmuje powstałe URL z paramatrem.

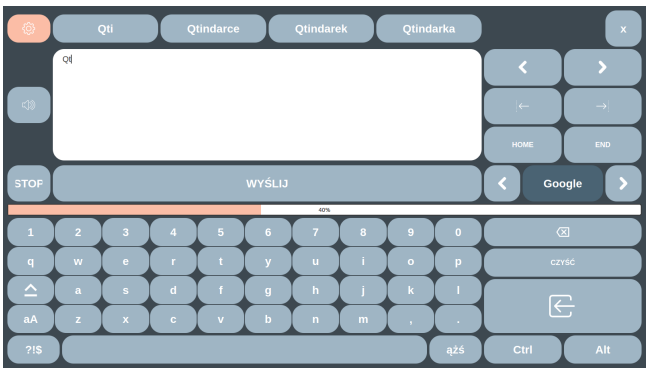
Google Api

Jak już wcześniej wspomniano 3.2.2 do projektu wykorzystano specjalne API Google - Google Custom Search Engine. Dzięki temu powstał specjalny link URL umożliwiający przyjmowanie różnych parametrów jako zapytanie do wyszukiwaraki. Co więcej specjalne API na rządanie GET zwraca iformację w postaci QNetworkReply, gdzie funkcja handleNetworkData() umożliwia jego przetworze-

nie w ustrukturyzowaną postać JSON. Obiekt JSON zawiera 10 pierwszych wynków wyszukiwania w specjalnej przeglądarce. Każdy z obiektów typu JSON posiada informacje o wyniku wyszukiwania. W skład takiego obiektu wchodzą [19]:

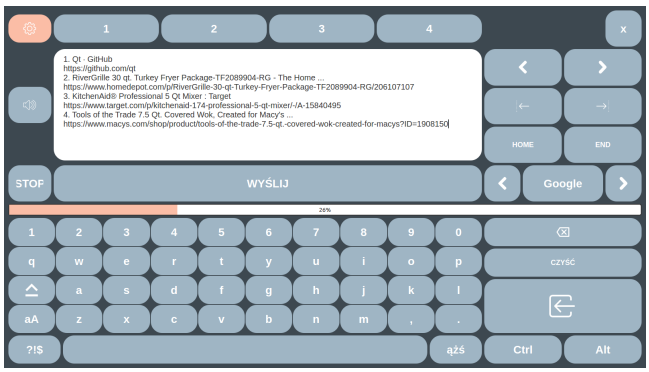
- ”kind”: ”customsearch#result”
- ”title”: string
- ”htmlTitle”: string
- ”link”: string
- ”displayLink”: string
- ”snippet”: string
- ”htmlSnippet”: string
- ”cacheId”: string
- ”mime”: string,
- ”fileFormat”: string
- ”formattedUrl”: string
- ”htmlFormattedUrl”: string
- ”pagemap”

Wykorzystując dane z ”title” oraz ”link” przedstawiane są użytkownikowi cztery pierwsze wyniki wyszukiwania w polu tekstowym,a ich wywołanie (otworzenie strony) odbywa się przez wybranie przystosowanych przycisków podpowiedzi z numerem wyniku wyszukiwania w przypadku wyszukiwania danych w Google. Przykład działania przedstawiono na rysunkach 4.11 oraz 4.12.



Rys. 4.11 Przykładowy tekst wpisany do pola tekstowego, wysyłany jako argumnet wyszukiwania Google.

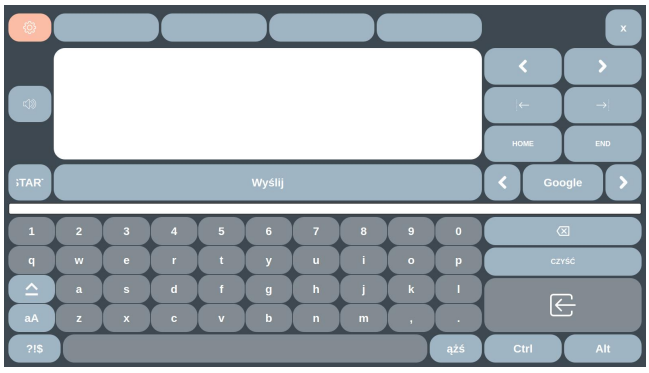
W wypadku wyszukiwań w Youtube oraz Filmweb użytkownik nie ma możliwości wyboru wyniku wyszukiwania - otwierany jest pierwszy wynik, który zawiera odpowiednie słowa kluczowe.



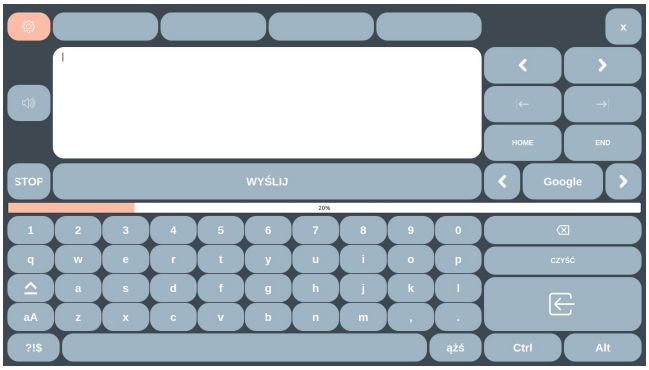
Rys. 4.12 Wyniki wyszukiwana tekstu wpisanego na rysunku 4.11.

4.4 Zaimplementowany interfejs użytkownika

Zaimplementowany interfejs użytkownika uległ przemodelowaniu w porównaniu z przedstawionym wcześniej projektem. 3.5.1 Wygląd nowego interfejsu można zaobserwować na rysunkach 4.13, 4.14, 4.15. Analizując widok klawiatury od górnego lewego rogu, pierwszą zmianą, którą da się zauważyć to zmina napisu ”menu” na intuicyjną ikonę, która w sposób bardziej spójny pasuje do całego wyglądu. Wszystkie ikony projektu pobrane zostały ze strony [20] i udostępniane są na podstawie licencji CC 3.0. Autorami są Smashicons, D. Grandy, C. Fertu oraz G. Cresnar. Kolejną zmianą jest rozmieszczenie przycisków *home*, *end* oraz *czyść*. Zostały one posortowane tematycznie, tak by użytkownikownik mógł je łatwiej odszukać. W ich miejsce przestawiony został przyciski Text-ToSpeech (aktualnie nieobsługiwany). W miejsce strzałek służących do poruszania się w kierunach góra-dół tekstu stworzono przyciski, których zadaniem jest przemieszczanie się po tekście o jedno słowo. Podczas testów zauważono, że przy pisaniu niedługich fragmentach tekstu, do których prawdopodnie najczęściej wykorzystywana będzie klawiatura, są one bardziej wykorzystywane niż strzałki góra-dół. Dużym ułatwieniem dla użytkownika była również zmiana dotychczas niewielkiego, kolistego paska postępu na poprzeczny pasek, znajdujący się pod przyciskiem wyślij. Łatwiej w ten sposób obserwować zmieniajacy



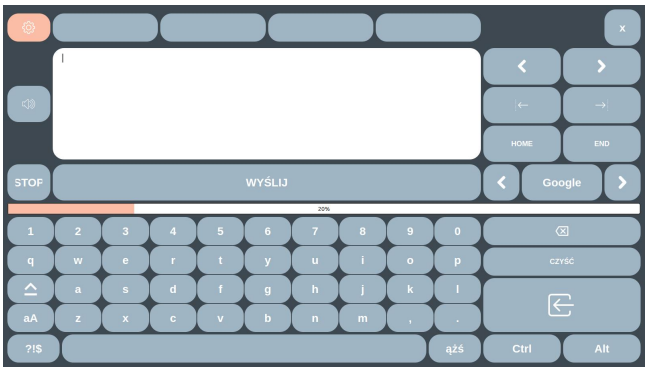
Rys. 4.13 Widok interfejsu, gdy przyciski są w trybie wstrzymania.



Rys. 4.14 Widok interfejsu, gdy przyciski są w trybie aktywnym.

Rys. 4.15 Widok okna menu.

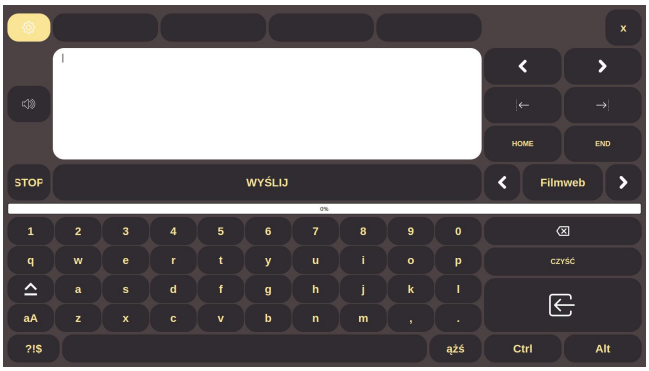
Rys. 4.16 Możliwe widoki trybów wyszukiwania.



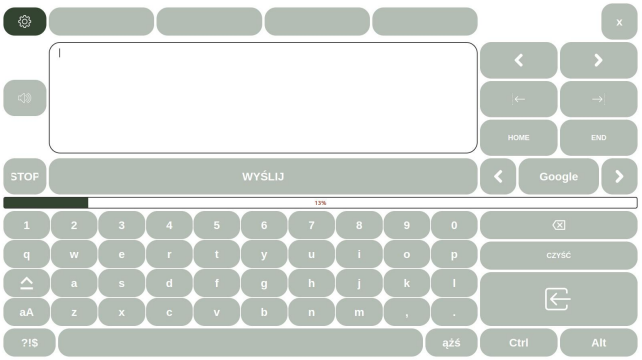
Rys. 4.17 Widok interfejsu w trybie *Basic*.

się jego stan bez odrywania wzroku od fiksowanego przycisku. Dodatkowo pasek jest w kolorze kontrastującym z barwą innych przycisków. Przycisk *wyślij* celowo został zaprojektowany jako największy w klawiaturze, by był łatwy do trafiena i dostęp do niego był wygodny podczas konwersacji przez broadcast. Obok niego pojawiły się przyciski zmieniające tryby wyszukiwania oraz przycisk dostosowujący swój napis do wybranego trybu. Zmiana wygląda tak jak na rysunku 4.16.

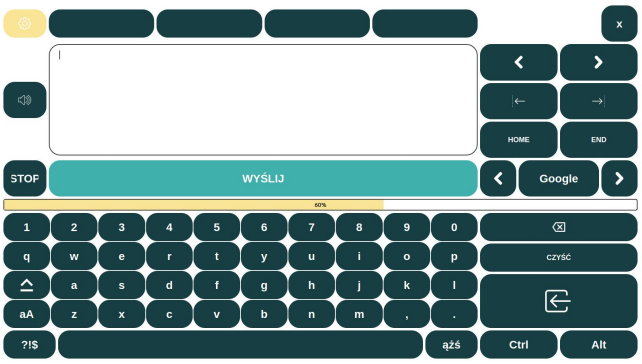
Jak widać na rysunku 4.15 użytkownikowi do wyboru przedstawiono 5 wersji kolorystycznych interfejsu 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21. Kolory dobrano tak, by stanowiły przyjemną do oka, spójną wizję aplikacji, a jednocześnie dawały wystaczający kontrast do wydajnej pracy. Paletę *Dark* zaprojektowano z myślą o pracy przy słabym oświetleniu, tak by jasne kolory ekranu nie raziły użytkownika w oczy. Paleta *Light* przystosowana jest dla użytkowników o potrzebie mniejszego kontrastu. Zarówno kolor zielony jak i niebieski są uważane według autorów publikacji [21] za barwy o charakterze relaksującym. Palety *Modern* oraz *Wine* powstały w celu zwiększenia możliwości wyboru, gdyż ostateczna ocena wyglądu intefejsu zależy od subiektywnych odczuć użytkownika. Wszystkie wyżej wymienione palety powstawły w oparciu o palety stworzone na stronie [22].



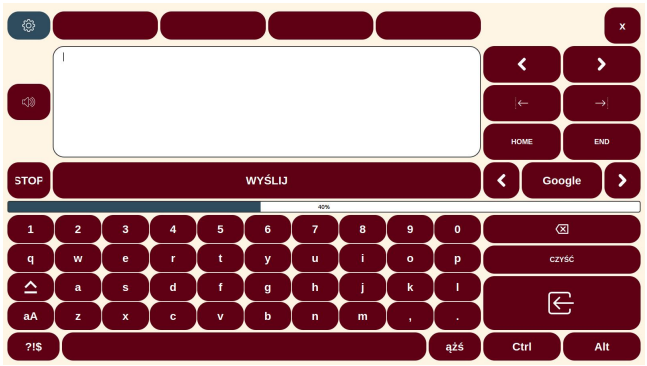
Rys. 4.18 Widok interfejsu w trybie *Dark*.



Rys. 4.19 Widok interfejsu w trybie *Light*.



Rys. 4.20 Widok interfejsu w trybie *Modern*.



Rys. 4.21 Widok interfejsu w trybie *Wine*.

4.5 Podsumowanie

W ramach relizacji projektu udało się zaimplementować wszystkie zaplanowane w rodziale 3 funkcjonalności. Niektóre zachowania zostały zmienione (np. wybór trybu wysyłania/wyszukiwania) względem zaplanowanych na diagramie przypadków użycia 3.4. Wynikło to z analizy sposobu korzystania z przycisków klawiatury i uznano nowy rozkład za bardziej ergonomiczny. Działanie oprogramowania omówiono w powyższym rozdziale ze szczegółowym opisem zastosowanych algorytmów bazowych, dzięki którym możliwe jest poprawne działanie aplikacji. Wymieniono i wytłumaczono rolę najważniejszych zmiennych. Omówiono nowy wygląd intefrejsu użytkownika oraz powody, dla których wprowadzono różnice w porównaniu z prototypem.

Rozdział 5

Testy i wyniki

W poniższym rozdziale przedstawiono opis testów dokonanych w celu weryfikacji oraz walidacji wykonanej aplikacji. Zamieszczono również wyniki oraz wnioski z nich wynikające.

5.1 Testy

Do zagadnień testowanych należą wymienione w projektach testów 3.6 prędkość korzystania z klawiatury ekranowej, przydatność jej udogodnien oraz subiektywne odczucia użytkowników. Ten rodzaj testów zalicza się do akceptacyjnych typu UAT(User Acceptance Tests).

Przebieg testów następował zgodnie z kolejnością opisaną w projekcie 3.6.

5.1.1 Grupa badawcza

W skład grupy badawczej wchodziły osoby z przedziału wiekowego 21-60 lat, o różnych płciach. Żadna z osób nie była chorą na stwardnienie boczne rozsiane, czy też w inny sposób upośledzona.

5.1.2 Warunki początkowe

Wszystkie osoby podczas testów korzystały z tej samej stacji roboczej i myszki, tak, że środowisko pozostało niezmienione. Przykładowe teksty zawsze były identyczne - wydrukowano je i proszono o ich przepisywanie z kartki. Podczas badań nie brano pod uwagę samopoczucia osób badanych np. stopnia ich zmęcznia, który mógł wpłynąć na ich wyniki.

5.2 Wyniki

W pierwszej kolejności dokonano testów aplikacji bez dynamicznej zmiany czasów dla progowej wartości czasu fiksacji równej 1,5s. Wyniki pomierzonych,

Lp.	Tk1 [s]	Te1 [s]	H1	Tk2 [s]	Te2 [s]	H2	Ted [s]	CC	H3
1	59	417	2	49	329	1	91	37	1
2	98	548	1	40	385	0	105	42	1
3	112	721	2	80	453	2	172	55	0
4	36	439	1	34	362	1	210	61	1
5	101	447	2	89	355	1	188	59	0
6	123	932	1	96	768	0	186	45	0

Tab. 5.1 Tabela wyników pomiarów dla aplikacji bez dynamicznej zmiany czasu.

Lp.	Tk1 [s]	Te1 [s]	H1	Tk2 [s]	Te2 [s]	H2	Ted [s]	CC	H3
1	34	445	2	36	336	1	171	53	0
2	80	548	1	66	415	0	124	36	0
3	42	364	2	25	266	2	92	46	1

Tab. 5.2 Tabela wyników pomiarów dla aplikacji z dynamiczną zmianą czasu.

za pomocą stopera, czasów zanotowano w tabeli 5.1. Skróty nazw kolejnych kolumn oznaczają: **Tk1**- czas dla pisania tekstu pierwszego klawiaturą komputerową,**Te1**-czas dla pisania tekstu pierwszego klawiaturą ekranową,**H1**-ilość wykorzystanych autopodpowiedzi podczas pisania tekstu pierwszego, **Tk2**-czas dla pisania tekstu drugiego klawiaturą komputerową, **Te2**-czas dla pisania tekstu drugiego klawiaturą ekranową,**H2**-ilość wykorzystanych autopodpowiedzi podczas pisania tekstu drugiego,**Ted**-czas pisania tekstu dowolnego klawiaturą ekranową,**CC**-ilość znaków użytych w dowolnym tekście, **H3**-ilość wykorzystanych autopodpowiedzi podczas pisania tekstu dowolnego . Ilość znaków w tekście pierwszym jest równa **142**, natomiast dla tekstu drugiego to **105** znaków. Po dodaniu funkcjonalności dynamicznej zmiany czasu progowego fiksacji zwzroku powtórzono pomiary dla 3 osób badanych. Celem tego zabiego było sprawdzenie, czy dynamiczna zmiana czasu przyspiesza wprowadzanie tekstu na klawiaturze. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.2. Dla pomierzonych danych policzono prędkości wpisywania znaków, a wyniki przedstawiono odpowiednio w tabelach 5.3, 5.4. Skróty nazw kolumn oznaczają: **Vk1**-ilość znaków na sekundę podczas pisania na klawiaturze komputerowej tekstu pierwszego,**Ve1**-ilość znaków na sekundę podczas pisania na ekranowej komputerowej tekstu pierwszego, **Vk2**-ilość znaków na sekundę podczas pisania na klawiaturze komputerowej tekstu drugiego, **Ve2**-ilość znaków na sekundę podczas pisania na klawiaturze ekranowej tekstu drugiego, **Ved**-ilość znaków na sekundę podczas pisania na klawiaturze ekranowej tekstu dowolnego. Wyniki zaokrąglone zostały do części dziesiętnej.

Lp.	Vk1 [znaków/s]	Ve1 [znaków/s]	Vk2 [znaków/s]	Ve2 [znaków/s]	Veb [znaków/s]
1	2,4	0,3	2,1	0,3	0,4
2	1,5	0,3	2,6	0,3	0,4
3	1,3	0,2	1,3	0,2	0,3
4	3,9	0,3	3,1	0,3	0,3
5	1,4	0,3	1,2	0,3	0,3
6	1,2	0,2	1,1	0,1	0,2

Tab. 5.3 Tabela prędkości wpisywania znaków dla aplikacji bez dynamicznej zmiany czasu.

Lp.	Vk1 [znaków/s]	Ve1 [znaków/s]	Vk2 [znaków/s]	Ve2 [znaków/s]	Veb [znaków/s]
1	4,2	0,3	2,9	0,3	0,3
2	1,8	0,3	1,6	0,3	0,3
3	3,4	0,4	4,2	0,4	0,5

Tab. 5.4 Tabela prędkości wpisywania znaków dla aplikacji z dynamiczną zmianą czasu.

Śr. Vet1 ND [znaków/s]	0,26
Śr. Vet1 D [znaków/s]	0,32
Śr. Vet2 ND [znaków/s]	0,25
Śr. Vet2 D [znaków/s]	0,32
Śr. Ved ND [znaków/s]	0,33
Śr. Ved D [znaków/s]	0,37

Tab. 5.5 Tabela średnich prędkości wpisywania znaków dla aplikacji

W celu lepszego porównania otrzymanych wartości prędkości zestawiono ze sobą wartości średnich prędkości dla aplikacji z oraz bez dynamicznej zmiany czasu. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.5. Skróty wierszy to: **Śr.Vet1 ND** -średnia prędkość dla tekstu numer 1 pisanego na klawiaturze bez dynamicznej zmiany czasu, **Śr.Vet1 D**-średnia prędkość dla tekstu numer 1 pisanego na klawiaturze z dynamiczną zmianą czasu, **Śr. Vet2 ND**- średnia prędkość dla tekstu numer 2 pisanego na klawiaturze bez dynamicznej zmiany czasu, **Śr.Vet2 D**-średnia prędkość dla tekstu numer 2 pisanego na klawiaturze z dynamiczną zmianą czasu, **Śr. Ved ND**-średnia prędkość dla tekstu dowolnego pisanego na klawiaturze bez dynamicznej zmiany czasu, **Śr. Ved D**-średnia prędkość dla tekstu dowolnego pisanego na klawiaturze z dynamiczną zmianą czasu. Wyniki średnich zaokrąglono do części setnych. Policzono również średnie sumaryczne dla: prędkości wpisywania znaków poprzez klawiaturę ekranową - **2,28** [**znaków/s**], prędkości wpisywania znaków poprzez klawiaturę ekranową bez dynamicznej zmiany czasu - **0,26** [**znaków/s**] oraz prędkości wpisywania znaków poprzez klawiaturę ekranową z dynamiczną zmianą czasu -**0,32** [**znaków/s**]. W wyniku rozmowy podsumowującej z każdym z uczestników badania wynotowano następujące uwagi i wnioski na temat pracy z klawiaturą ekranową:

- Podpowiedzi są mało przydante ze względu na to, że przedstawiają 4 pierwsze słowa w kolejności alfabetycznej, a nie 4 pierwsze słowa ze względu na częstość występowania w języku Polskim.
- Zbyt krótki czas progowy fiksacji prowadzi do dużej ilości błedów i wpływa irytująco na użytkownika.
- Najchętniej wybieranym zestawem kolorystycznym jest *Modern*.
- Pierwsze próby pracy z klawiaturą ekarnową są wysoce męczące, jednak przy kolejnych próbach szybko widać postępy w sposobie korzystania z niej i praca staje się przyjemniejsza.

- Wygląd przycisków *CapsLock* oraz *Shift* mógłby być bardziej jednoznaczny. Często dochodzi do pomyłek.

5.2.1 Wnioski

Analizując i porównując powyżej przedstawione wyniki pomiarowe moża nauważyć następujące poprawności:

- Prędkość wpisywania tekstu klawiaturą ekranową jest średnio 8,8 razy mniejsza dla klawiatury bez dynamicznej zmiany czasu oraz 7,1 razy mniejsza dla klawiatury z dynamiczną zmianą czasu.
- Prędkość wpisywania znaków na klawiaturze ekranowej jest niezależna od tekstu wprowadzanego i waha się między 0,1 a 0,5 znaków na sekundę.
- Średnia wartość prędkości dla tekstu dowolnego jest nawet do 0,12 znaku na sekundę większa od prędkości dla tekstu przepisywanego.
- Przyciski podpowiedzi są częściej używane, gdy tekst był już wcześniej znany i przepisywany, ale rzadziej dla tekstu dowolnego.
- Przyciski podpowiedzi nie przyspieszają wpisywania tekstu.
- Różnice prędkości średnich dla klawiatury bez i z dynamiczną zmianą czasu dla każdego testu są znikome, jednak zauważa się niewielkie zwiększenie prędkości dla klawiatury z dynamiczną zmianą czasu.

Na podstawie powyższych wniosków można stwierdzić, iż w celu poprawy jakości działania klawiatury ekranowej należy dopracować algorytm dynamicznej zmiany czasu oraz zamienić algorytm tworzący autouzupełnienia słów, tak by ten brał pod uwagę częstość wykorzystania daniego słowa zamiast jego alfabetyczną kolejność.

Rozdział 6

Podsumowanie

Projekt ten z pozoru prosty natęczył wiele problemów natury algorytmicznej, które jednak udało się rozwiązać w wystarczająco dobry sposób, by móc powiedzieć o oprogramowaniu, że spełnia założone cele projektowe opisane w podrodziale 3.3, a co więcej pozostawia miejsce na jej dalszy rozwój. Poniżej pokrótce opisane zostaną wniki realizacji projektu oraz oraz propozycje jej rozwoju.

6.1 Realizacja

Jak wyżej wspomniano, udało się zrealizwać wszystkie założone wymagania oraz doprowadzić powstałą klawiaturę ekranową do tego stopnia użyteczności, że nawet wprowadzone zostały udogodnienia typu skrót klawiszowy otwierający menu kontekstowe oraz autouzupełnienie słów. Co więcej klawiatura jest w pełni kompatybilna z polskimi literami, czego nie można powiedzieć o dotychczasowych rozwiązaniach tego typu. Aplikacja jest komunikatywna zarówno poprzez broadcast z siecią lokalną jak i z siecią internetową. Klawiatura jest konfigurowywalna oraz personalizowywalna.

6.1.1 Oprogramowanie

Powstałe oprogramowanie stanowi spójną całość z gamą algorytmów opisanych w podrozdziale 4.3. Algorytmy są opracowane do poziomu wystaczającego, jednak istnieje duża możliwość ich rozwoju i udoskonalenia w celu jeszcze lepszej pracy klawiatury. Więcej na temat możliwego rozwoju aplikacji poniżej.

6.2 Możliwości dalszego rozwoju

Po realizacji dotychczas zaplanowanych punktów zauważono, że istnieje szereg punktów, które można w przyszłości rozwinąć. Część opisano już w podrozdziale 3.7.

6.2.1 Interfejs klawiatury

Należało by się zastanowić jak rozwiązać problem niewystarczającej przestrzeni ekranowej dla przycisków o wymiarach minimalnych 140px na 140px. Domyślnym rozwiązaniem byłoby zwiększenie dokładności sprzętu (okluarów) lub też zwiększenie minotra - co nie jest skutecznym rozwiązaniem dla chorych na stwardnienie boczne rozsiane.

Udoskonalenia mogłyby wymagać również schematy kolorystyczne aplikacji. Wymagałoby to konsultacji z osobami chorymi, bądź osobami z ich otoczenia, czy też większego zasobu materiałów na temat optymalizacji wyglądów interfejsów oprogramowania. W wypadku oprogramownia dla chorych na ALS jest to bardzo znaczący czynnik, gdyż spędzać będą oni większość czasu na niego patrząc. Aplikacja będzie więc cześciej i dłużej wykorzystywana niż innego typu oprogramownia. Należy więc zadbać o zdrowotność interfejsu dla oczy pacjenta.

Podążając za opinią tesujących opisaną w 5.2 przemyśleć należy również jak uczyniść interfejs bardziej intuicyjnym oraz jednocznacznym.

6.2.2 Algorytmy

Odnosząc się również do punktu 5.2 zdecydowanie należy rozwinąć mechanizm słownikowy, tak by ten działał na system wagowy tzn. sugerował się częstością użycia danego słowa, a dopiero w drugiej kolejności alfabetycznym porządkiem. Znaczącym ułatwieniem byłoby również automatyczne uzupełnianie słownika o nieistniejące słowa często używane, oraz możliwość ręcznego usunięcia słów nieużywanych.

Dopracowania może wymagać również algorytm poruszania się po tekście.Należałoby umożliwić łatwe przewijanie tekstu w edytorze, jego zapisywanie oraz wczytywanie. Nacisk należy położyć na komunikację klawiatury z komputerem oraz programami zewnętrznymi. Jeśli to byłoby możliwe, można by było zrezygować z dedykowanego API Google do wyszukiwania.

Bibliografia

[1] Taub E. Mumenthaler M., Mattle H. *Fundamentals of Neurology: An Illustrated Guide.* Georg Thieme Verlag, 2006.

[2] Krechowiecki 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 sla/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 TECHNICE' 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*. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, November/December 1989.

[13] C++ pliki nagłówkowe. `http://www.cplusplus.com/forum/articles/10627/`. Data dostępu: 2017-11-28.

[14] About qt. `http://wiki.qt.io/About_Qt`. Data dostępu: 2017-11-11.

[15] Language bindings. `http://wiki.qt.io/Language_Bindings`. Data dostępu: 2017-11-11.

[16] Trie tree - definicja national institute of standards and technology. `https://xlinux.nist.gov/dads/HTML/trie.html`. Data dostępu: 2017-11-17.

[17] D. J. Wetherall. A. S. Tanenbaum. Computer networks. Pearson, 2003. Edycja 5.

[18] Google custom searchengine. `https://developers.google.com/custom-search/docs/overview`. Data dostępu: 2017-11-20.

[19] Google custom searchengine json resposne. `https://developers.google.com/custom-search/json-api/v1/reference/cse/list#response`. Data dostępu: 2017-11-27.

[20] Strona źródłowa dla pobranych ikon wykorzystanych w pracy. `https://www.flaticon.com/`. Data dostępu: 2017-11-06.

[21] P. Fenrich. *Practical Principles of Instructional Design, Media Selection, and Interface Design with a Focus on Computer-based Training/Educational Software*. British Columbia Institute of Technology, 2014. str. 281.

[22] Strona źródłowa dla kombinacji kolorystycznych dobranych w interfejsie użytkownika. `http://colorpalettes.net/category/contrasting-color/`. Data dostępu: 2017-11-14.