

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Wydział Matematyki i Informatyki



Leszek Lorens
Nr albumu – 291364

Wprowadzanie danych
w oparciu o niestandardową obsługę podstawowych urządzeń wejścia
przez osobę pozbawioną sprawności manualnej

Non-Standard Data Input by a Person with Manual Disability

Praca magisterska
Na kierunku INFORMATYKA

Praca napisana pod kierunkiem
Prof. UAM dra hab. Krzysztofa Jassem

Poznań, czerwiec 2014 r.

Poznań,
(data)

OŚWIADCZENIE

Ja, niżej podpisany **Leszek Lorens** student Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oświadczam, że przedkładaną pracę dyplomową pt: **Wprowadzanie danych w oparciu o niestandardową obsługę podstawowych urządzeń wejścia przez osobę pozbawioną sprawności manualnej** napisałem samodzielnie. Oznacza to, że przy pisaniu pracy, poza niezbędnymi konsultacjami, nie korzystałem z pomocy innych osób, a w szczególności nie zlecałem opracowania rozprawy lub jej części innym osobom, ani nie odpisywałem tej rozprawy lub jej części od innych osób.

Oświadczam również, że egzemplarz pracy dyplomowej w wersji drukowanej jest całkowicie zgodny z egzemplarzem pracy dyplomowej w wersji elektronicznej.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że przypisanie sobie, w pracy dyplomowej, autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzego utworu lub ustalenia naukowego stanowi podstawę stwierdzenia nieważności postępowania w sprawie nadania tytułu zawodowego.

[TAK] - wyrażam zgodę na udostępnianie mojej pracy w czytelni Archiwum UAM

[TAK] - wyrażam zgodę na udostępnianie mojej pracy w zakresie koniecznym do ochrony mojego prawa do autorstwa lub praw osób trzecich

.....
czytelny podpis studenta

Spis treści

Streszczenie	4
Wstęp	5
I. Krótki przegląd wybranych rozwiązań w zakresie niestandardowej obsługi komputera przez osoby niepełnosprawne	8
1. Alternatywy dla użycia myszy	8
1.1. Manipulatory i przełączniki dotykowe	8
1.2. Myszy sterowane ruchami głowy	9
1.3. Myszy sterowane za pomocą ust	10
1.4. Myszy sterowane ruchem oczu	11
2. Adaptacje i modyfikacje klawiatury	13
2.1. Klawiatury ekranowe	13
2.2. Klawiatury specjalistyczne	13
3. Systemy i interfejsy łączące funkcje myszy i klawiatury	16
3.1. System Sensor	16
3.2. Blink-It	18
3.3. System The Grid2	20
3.4. b-Link.....	20
3.5. Sterowanie komputerem za pomocą mowy	21
3.6. Komunikacja człowiek-komputer bez udziału ruchu	22
4. Opis rozwiązań stosowanych podczas obsługi komputera przez autora pracy.....	24
II. Zmodyfikowana klawiatura osobista – założenia projektu	29
1. Konieczność modyfikacji klawiatury wynikająca ze specyfiki dysfunkcji autora	29
2. Opis szczegółowy modyfikacji klawiatury	31
3. Funkcjonalności klawiatury w nowej wersji.....	35
III. Testowanie zmodyfikowanego urządzenia i rezultaty testów.....	37
4. Kryteria przyjęte na potrzeby testu.....	37
5. Przebieg testów.....	37
2.1. Test szybkości wprowadzania danych.....	37
2.2. Test ergonomii stanowiska pracy.....	39
3. Opis wyników testów.....	40
3.1. Wyniki testów szybkości wprowadzania danych.....	40
3.2. Wyniki testów ergonomii stanowiska pracy	41
Zakończenie	43
Wykaz rysunków	45
Wykaz tabel	45
Literatura	46

Streszczenie

Temat i zakres niniejszej pracy jest ściśle związany z problemem obsługi komputera przez niepełnosprawnego użytkownika. Autorem pracy jest osoba z dysfunkcją motoryczną pozbawiona sprawności manualnej. Praca w swoim pierwszym rozdziale przedstawia dostępne obecnie rozwiązania w zakresie programów i urządzeń ułatwiających obsługę komputera osobom z niepełnosprawnością ruchową. Część pierwszego rozdziału jest opisem postaci dysfunkcji autora i związanych z tym nietypowych sposobów obsługi urządzeń wejścia. Drugi rozdział szczegółowo opisuje projekt magisterski, w ramach którego została zmodyfikowana klawiatura numeryczna w celu przystosowania jej do użytku w sposób niestandardowy przez autora pracy. Trzecia część pracy prezentuje kryteria i wyniki testowania aplikacji modyfikującej klawiaturę numeryczną.

Słowa kluczowe :

Interakcja człowiek-komputer, technologie wspomagające, zmodyfikowana klawiatura numeryczna, dysfunkcje motoryczne i sensoryczne, interfejs BCI.

Abstract

The subject and the scope of this thesis is closely connected with the problem of controlling a computer by a disabled user. The author is a person with motional dysfunction, devoid of manual dexterity. In the first chapter the thesis presents currently available solutions in the range of programs and devices, which facilitate controlling a computer by the people with physical disabilities. A part of the first chapter describes the author's dysfunctions and non-standard ways of handling input devices caused by the dysfunctions. The second chapter presents the project in which the numeric keyboard has been modified in order to adapt it to the needs of the user. The third part shows the criteria and results of testing the application which modifies the numeric keyboard.

Keywords:

human-computer interaction, assistive Technologies, modified numeric keyboard. motional and sensory dysfunctions, BCI interface

Wstęp

1. Problematyka uzasadniająca temat pracy

Technologie informatyczne od pewnego czasu uwzględniają szczególne potrzeby, jakie w zakresie obsługi komputera mają osoby niepełnosprawne. Dostępnych jest dziś wiele urządzeń i programów wspomagających komunikację człowiek – komputer. Problemem jednak ciągle pozostaje znalezienie i dobór systemu wspomagającego dla konkretnego człowieka. Możliwość indywidualnego dostosowania rozwiązań w tym zakresie jest ściśle zależna od stopnia i postaci dysfunkcji określonego potencjalnego użytkownika.

Oferta sprzętu i oprogramowania kierowana do osób z niepełnosprawnościami jest szeroka i zazwyczaj dość typowo pogrupowana. Twórcy programów i urządzeń wspomagających rozpoznają potrzeby osób niepełnosprawnych według pewnych schematów.

Najczęściej takie rozpoznanie uwzględnia podział na osoby sparaliżowane, osoby z jakąś dysfunkcją ruchu, osoby niewidome czy niesłyszące. W każdej jednak z tych grup niepełnosprawność może występować w różnym stopniu i postaci. Trzeba przy tym pamiętać, że człowiek może być dotknięty dysfunkcją zarówno ruchową, jak też sensoryczną.

Często spotyka się zbyt ogólnikowe wskazania, że np. dane urządzenie lub program może być wykorzystany przez osoby z mózgowym porażeniem dziecięcym. Termin mózgowie porażenie dziecięce jest ogólnym medycznym określeniem wskazującym na możliwość wystąpienia wielu różnorodnych dysfunkcji, może też oznaczać tylko jedną drobną niesprawność niewymagającą żadnego dodatkowego wspomaganie. Dopiero precyzyjne zbadanie możliwości niepełnosprawnej osoby pozwala zdecydować o tym, jakiego rodzaju sprzęt czy program jest w danym przypadku konieczny. Jest to bardzo istotne, ponieważ szansa na samodzielność osób niepełnosprawnych zwiększa się poprzez rozumienie ich funkcjonalnych możliwości [2].

Wielkie firmy informatyczne, jak np. Apple, Microsoft, IBM, a także firmy specjalizujące się w inżynierii rehabilitacyjnej, wypracowały standardy techniczne rozwiązań wspierających niepełnosprawnych użytkowników komputerów. Ciągłe jednak problemem pozostaje konieczność indywidualizacji rozwiązań w przypadku osób z ciężkimi dysfunkcjami fizycznymi, których możliwości komunikacyjne do tych standardów nie przystają. Indywidualizacja z kolei pociąga za sobą wzrost kosztów konkretnych akcesoriów, co dla osób niepełnosprawnych stanowi znaczącą barierę finansową.

Wiele oferowanych na rynku urządzeń wspomagających pracę z komputerem przeznaczonych jest dla osób mających sprawne ręce i z powodzeniem kontrolujących pozycję swojego ciała. Kiedy jednak użytkownik dotknięty jest znacznymi ograniczeniami ruchowymi i jednocześnie sensorycznymi, istnieje ryzyko, że mimo różnorodnej oferty urządzeń i oprogramowania nie jest on w stanie skorzystać z żadnego z nich. Wtedy konieczne jest poszukiwanie nowego rozwiązania. Przed taką właśnie koniecznością stanął autor niniejszej pracy.

2. Cel i zawartość pracy

Interakcja człowiek – komputer jest możliwa przy użyciu z jednej strony narzędzi komunikacyjnych człowieka, czyli zmysłów, narządów ruchu i mowy, z drugiej strony – narzędzi komunikacyjnych maszyny, czyli urządzeń wejścia/wyjścia. Podczas komunikowania się z urządzeniami wyjścia komputera (głośniki, monitor) człowiek wykorzystuje głównie wzrok i słuch. Inaczej jest podczas komunikacji z urządzeniami wejścia (klawiatura, myszka), które są powszechnie obsługiwane dłońmi, rzadziej przy wykorzystaniu wzroku czy mowy.

W pracy skoncentrowano się na zagadnieniach obsługi urządzeń wejścia przez osobę pozbawioną sprawności manualnych i ze znacznymi zaburzeniami mowy.

Cele niniejszej pracy są następujące:

- prezentacja niektórych urządzeń i oprogramowania wspomagającego obsługę komputerów przez osoby niepełnosprawne,
- wskazanie czynników, które w przypadku konkretnej postaci niesprawności ruchowej mają decydujący wpływ na możliwość (lub niemożność) korzystania z określonych rozwiązań technologii wspomagających,
- prezentacja specyficznego stanowiska pracy autora,
- opis autorskiego oprogramowania modyfikującego standardową klawiaturę numeryczną,
- przedstawienie rezultatów korzystania ze zmodyfikowanego urządzenia.

Rozdział pierwszy jest przeglądem niektórych aktualnie dostępnych rozwiązań oferowanych osobom z dysfunkcjami manualnymi przez technologie wspomagające. Zgodnie z tematem przegląd obejmuje rozwiązania będące alternatywą dla stosowanych powszechnie klawiatur i myszy komputerowych. W ostatnim punkcie tego rozdziału autor, opisując własny

sposób obsługi komputera, wyjaśnia szczegółowo, dlaczego nie może znaleźć wśród omówionych urządzeń i programów rozwiązania odpowiedniego dla siebie.

Rozdział drugi poświęcony jest w całości opisowi szczegółów dostosowania przez autora do swoich potrzeb klawiatury numerycznej, która po modyfikacji umożliwia sprawniejszą obsługę komputera oraz poprawia w sposób znaczący ergonomię stanowiska pracy.

W rozdziale trzecim zaprezentowano kryteria przyjęte dla potrzeb testów oraz sposób i rezultaty testowania zmodyfikowanej klawiatury.

W zakończeniu pracy podkreślono występującą w nowych technologiach przewagę rozwiązań, które w komunikacji z maszyną wykorzystują różne zmysły człowieka. Wskazano na najnowsze badania w kierunku konstruowania urządzeń analizujących zapis fal mózgowych, co pozwala już obecnie na tworzenie interfejsów komunikacji bezpośredniej między mózgiem a komputerem. Podkreślono też rolę nowoczesnych urządzeń w udostępnianiu komputerów osobom z dysfunkcjami motorycznymi oraz znaczenie precyzyjnego dostosowania sprzętu komputerowego do stopnia i rodzaju niepełnosprawności.

I. Krótki przegląd wybranych rozwiązań w zakresie niestandardowej obsługi komputera przez osoby niepełnosprawne

W rozdziale skoncentrowano się na przedstawieniu niektórych alternatywnych możliwości obsługi komputera przeznaczonych dla osób z niepełnosprawnością ruchową, ze szczególnym wskazaniem na użytkowników z dysfunkcjami manualnymi.

Obsługa urządzeń wejścia może być ułatwiona na poziomie oprogramowania i na poziomie sprzętu. Systemy operacyjne zawierają opcje ułatwień dostępu, pozwalające na korzystanie np. ze skrótów klawiaturowych czy z klawiszy filtru. Również z poziomu oprogramowania możliwe jest zastępowanie ruchów myszy klawiszami strzałek, używanie wirtualnej klawiatury itp. Wszystko to wymaga jednak precyzyjnego dostosowania kontrolera, który pozwoli na wydawanie poleceń komputerowi.

W przypadku deficytów manualnych i problemów z obsługą standardowych myszy i klawiatur, poza ułatwieniami systemowymi, konieczny jest specjalistyczny sprzęt, który może zastąpić kontrolery wymagające sprawności dłoni i palców. Nowoczesne technologie tworzą w tym zakresie coraz lepsze rozwiązania.

1. Alternatywy dla użycia myszy

1.1. Manipulatory i przełączniki dotykowe

Przełączniki dotykowe przeznaczone są głównie dla osób mających trudności w precyzyjnym chwytaniu oraz manipulowaniu palcami dłoni. Użytkownik uruchamia je przez dotyk dowolną kontrolowaną częścią ciała:

- ❖ Manipulatory typu trackball z wbudowanymi przyciskami dla osób mających problem z chwytaniem zwykłej myszy. Manipuluje się w nich kulą znajdującą się na powierzchni urządzenia. Niektóre z nich są wyposażone w kontrolę szybkości kursora czy dodatkowe przełączniki.
- ❖ Manipulatory dotykowe, jak np. Cruise Track Pad – niewymagające ruchu nadgarstka oraz silnego nacisku.
- ❖ Joysticki pozwalające na sterowanie dowolną częścią ramienia, częścią twarzy lub nogi. Niektóre, jak np. Traxys Roller Plus Joystick¹ mają dodatkowe przyciski zastępujące przyciski myszy z funkcjami pojedynczego i podwójnego

¹ http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164

kliknięcia, poziome i pionowe blokady oraz sterowanie szybkością kursora. Joysticki sterowane zaledwie minimalnym ruchem ręką, np. Rock Joystick².

- ❖ Proste przełączniki typu switch różnych kształtów i kolorów, do których obsługi wystarczy jeden ruch dowolnej kontrolowanej części ręki, ramienia czy nogi. Można im przyporządkować różne funkcje myszy czy klawiatury. Dostępne są pojedyncze przełączniki działające punktowo lub całe zestawy pozwalające na zawarcie wszystkich funkcji myszy w jednym zestawie. Możliwe jest uruchamianie przełączników w różny sposób, np. Tip Switch [3] posiada rtęciowy czujnik wychylenia, String Switch [3] uruchamia się pociągnięciem linki, Sensor Switch [3] uruchamia się minimalnymi ruchami mięśni. Odpowiednie aplikacje umożliwiają wybór funkcji.
- ❖ Ekran i monitory dotykowe – funkcja bezpośredniej dotykowej obsługi systemu.

1.2. Myszy sterowane ruchami głowy

Rozwiązania adresowane do użytkowników pozbawionych możliwości użycia rąk, a także dla osób unieruchomionych w łóżkach lub na wózkach inwalidzkich:

- ❖ Tracker Pro³ z oprogramowaniem Magic Cursor⁴ do klikania – specjalna kamera umieszczona w górnej części monitora śledzi ruch kropki umieszczonej na czole użytkownika. Urządzenie współdziała z klawiaturą ekranową i nie wymaga dodatkowego oprogramowania, może pracować w świetle słonecznym.
- ❖ Head Mouse Extreme⁵ – rozwiązanie, w którym kropka na czole użytkownika śledzi ruchy kursora, a czytnik z monitora rejestruje te ruchy. Posiada wbudowany odbiornik podczerwieni. Head Mouse podłącza się do komputera poprzez port USB, dzięki czemu działa jak standardowa mysz. Oprogramowanie symulujące funkcje myszy pozwala klikać przyciskami myszy poprzez zatrzymanie kursora przez jakiś czas. Można ją montować nad

² tamże

³ http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164

⁴ Tamże

⁵ Tamże

monitorem pod różnym kątem. Zapewnia dostęp do wszystkich funkcji klawiatury ekranowej łącznie z dostępem do Internetu (Rys. 1).



Rys. 1. Head Mouse Extreme
Źródło: <http://www.harpo.com.pl>

- ❖ Camera Mouse⁶ – system umożliwiający sterowanie kursorem myszy oraz klikanie ruchem głowy na podstawie wykrytego obrazu twarzy z kamery. Kursor, podobnie jak joystick rusza się po ekranie dopóty dopóki trwa ruch głowy. Jeśli nie porusza się poza zakres 30 pikseli dłużej niż 0,5s, następuje kliknięcie. Darmowy program Camera Mouse2013 działa w systemie Windows 7, wymaga jednak zainstalowania środowiska .Net Framework 3.5.
- ❖ Enable Viacam⁷ – program również korzystający z wykrywania obrazu twarzy. Kursor jest poruszany, gdy wykrywany jest ruch na zaznaczonym obszarze. Gdy nic się nie porusza, kursor jest nieruchomy. Kliknięcie realizowane jest poprzez przytrzymanie kursora w jednym miejscu.

1.3. Myszy sterowane za pomocą ust

Przeznaczone dla osób pozbawionych sprawności manualnej przy dobrze zachowanej kontroli oddechu i mięśni twarzy:

- ❖ Integra Mouse Plus⁸ – rozwiązanie, w którym nawet najmniejszy ruch ust porusza kursor na ekranie, a zasysanie i dmuchnięcia przez specjalny ustnik odpowiednio przejmują funkcje kliknięcia prawym lub lewym przyciskiem myszy

⁶ http://www.seplodz.pl/biuletyn/sep_1_2011.pdf

⁷ http://dev-kaib.agh.edu.pl/lab_biocyb/wojtek/download/MM133_WOJSOFT1.pdf

⁸ http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164

- ❖ Exelon Mouse⁹ – urządzenie pracujące również na zasadzie zasysania i wydechu powietrza. Ruch kursora na ekranie kontroluje bardzo czuły ustnik. Kliknięcie odbywa się poprzez wydech i zassanie powietrza. Może poruszać się w trybie myszy lub touchpada, nie wymaga instalowania dodatkowego oprogramowania.
- ❖ Urządzenia sterowane poprzez dotykaniem językiem odpowiednich elementów umieszczonych w podniebieniu, jak w systemie Tongue Control¹⁰ – za pomocą kilku lub kilkunastu elektromagnesów umieszczonych na podniebieniu oraz magnesu przytwierdzonego do języka możliwa jest nawigacja funkcjami komputera, a także sterownika, np. wózka elektrycznego.

1.4. Myszy sterowane ruchem oczu

Adresowane do użytkowników z zanikiem mięśni, trwale unieruchomionych w jednej pozycji z dobrze zachowaną kontrolą ruchu gałek ocznych:

- ❖ Mrugomysz¹¹ – program umożliwiający poprzez mruganie korzystanie z mrugopisu – będącego częścią urządzenia BlinkIt¹² (patrz 1.3.) Cyber-Oko¹³ – rozwiązanie, w którym komputer posiada kamerę i zestaw diod podczerwonych zamontowanych w rogach ekranu oraz wokół obiektywu kamery. Wzrok jest śledzony przy wykorzystaniu efektu „jasnej źrenicy” powstający podczas odbicia światła podczerwonego od źrenicy oka przy odpowiednim ustawieniu diod.
- ❖ Urządzenia wykorzystujące technologię eyetrackingu, takie jak.: EyeTech TM4 (Rys. 2 i Rys. 3), PCEye¹⁴ (Rys. 4).

⁹ Tamże

¹⁰ http://www.cyfrowaintegracja.org/wirtualna-wystawa/tongue_drive_system

¹¹ http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164

¹² Tamże

¹³ http://www.seplodz.pl/biuletyn/sep_1_2011.pdf

¹⁴ http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164



Rys. 2. EyeTech TM 4

Źródło: <http://www.smartboxat.com/eyegaze/eyetech-tm4/>

Urządzenia wykorzystujące zasadę eyetrackingu podłączane są do monitora i montowane u dołu ekranu jak na Rys. 3 i 4.



Rys. 3. EyeTech TN4 podłączone do monitora

Źródło: http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164



Rys. 4. Urządzenie PCEye u dołu monitora

Źródło: http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164

Metoda eyetrackingu – metoda polegająca na śledzeniu ruchu gałek ocznych osoby badanej. Można w ten sposób zbadać interfejs lub aplikację ze szczególnym uwzględnieniem tego, co widzi użytkownik. Badanie odbywa się za pomocą urządzenia do pomiarów dwóch rodzajów parametrów wzroku: ruchów sakkadowych i fiksacji.

Ruchy sakkadowe – mimowolne skokowe ruchy oka wykonywane podczas obserwowania obiektów. Powstają też jako reakcja na pojawienie się na peryferiach pola widzenia obiektów przyciągających uwagę.

Fiksacje – ruchy gałek ocznych niezależnie od ruchów głowy. Pozwalają skupić wzrok na danym obiekcie ruszając jednocześnie głową.

Dzięki eyetrackingowi można określić dokładnie położenie wzroku na ekranie oraz stwierdzić, które elementy są ignorowane przez użytkownika.

Alternatywa dla myszy jako urządzenia wejścia znajduje się również w rozwiązaniach takich jak: Spikit, BLink, Blink-It, System Sensor, system The Grid 2. Programy te i systemy zostaną opisane w punkcie 3 niniejszego rozdziału.

2. Adaptacje i modyfikacje klawiatury

2.1. Klawiatury ekranowe

Klawiatury umożliwiające wprowadzanie danych jedynie przy użyciu myszy, np. sterowanej ruchami głowy. Takie klawiatury przeznaczone są głównie dla osób z dysfunkcjami manualnymi lub osób pozbawionych sprawności manualnej:

- ❖ Klawiatura Head /Mouth¹⁵ – klawiatura o specjalnym kształcie przystosowana dla osób posługujących się wskaźnikiem nagłownym (headpointer).
- ❖ Klawiatura Click-N-Type¹⁶, a także inne klawiatury ekranowe możliwe do aktywowania w poszczególnych systemach operacyjnych. W klawiaturach ekranowych można zmienić czcionkę, dodać dźwięk kliknięcia lub zmienić tryb wpisywania.

2.2. Klawiatury specjalistyczne

Klawiatury przeznaczone m.in. dla użytkowników z jednoręcznych oraz dla użytkowników z różnymi manualnymi ograniczeniami:

¹⁵ <http://www.maltron.com/>

¹⁶ http://dev-kaib.agh.edu.pl/lab_biocyb/wojtek/download/MM133_WOJSOFT1.pdf

- ❖ Klawiatury dla osób jednoręcznych np. Maltron Single Handed¹⁷ – dostępne w dwóch wersjach dla prawej i dla lewej ręki. Układ klawiszy inny niż w systemie QWERTY pozwala na optymalne ustawienie każdego z palców (Rys. 5).



Rys. 5. Klawiatura Maltron dla praworęcznych
Źródło: <http://maltron.com/keyboard-info/single-hand-keyboards>

Alternatywą dla układu QWERTY z przeznaczeniem dla użytkowników niepełnosprawnych jest też układ klawiatury Dvoraka, posiadający wersje dla osób jednoręcznych¹⁸. Układ Dvoraka zawiera optymalne rozmieszczenie klawiszy ustalone w oparciu o częstotliwość występowania liter oraz anatomię ręki. Układ liter został podzielony na ręce wg zasad, że prawa ręka powinna pisać więcej, bo większość osób jest praworęczna, lewa ręka powinna pisać samogłoski oraz mniej używane litery. Twórca układu August Dvorak założył, że litery zwykle występujące razem powinny być w układzie fizycznie blisko siebie i w środkowym rzędzie. Najrzadziej używane litery zostały usytuowane w najniższym rzędzie.

Klawiatura została opatentowana w 1936 roku, a w 1982 r. ANSI (*American National Standards Institute*) ustanowiło ją standardem (Rys. 6 i Rys. 7).

¹⁷ <http://maltron.com/keyboard-info/single-hand-keyboards>

¹⁸ http://pl.wikipedia.org/wiki/Klawiatura_Dvoraka

~	!	@	#	\$	J	L	M	F	P	?	{	}	←	
1	2	3	4							/	[	]	Backspace
Tab	↔	%	^	Q	>	O	R	S	U	Y	B	:	+	|
5	6	.										:	=	\
Caps Lock	&	*	Z	A	E	H	T	D	C	K	-	Enter	↵	
7	8													
Shift	↑	(	)	X	<	I	N	W	V	G	"	Shift	↵
9	0	,												
Ctrl	Win Key	Alt								Alt Gr	Win Key	Menu	Ctrl	

Rys. 6. Praworęczna wersja układu Dvoraka
 Źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Klawiatura_Dvoraka

~	{	}	?	P	F	M	L	J	\$	#	@	!	←	
[	]	/							4	3	2	1	Backspace
Tab	↔	:	Q	B	Y	U	R	S	O	>	^	%	+	|
6		.									6	5	=	\
Caps Lock	-	K	C	D	T	H	E	A	Z	*	&	Enter	↵	
8	7													
Shift	↑	"	X	G	V	W	N	I	<	)	(	Shift	↵
0	9	,												
Ctrl	Win Key	Alt								Alt Gr	Win Key	Menu	Ctrl	

Rys. 7. Leworęczna wersja układu Dvoraka
 Źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Klawiatura_Dvoraka

- ❖ Klawiatury ze specjalnymi nakładkami umożliwiającymi trafiać w klawisze IntelliKeys USB¹⁹ – klawiatura ze specjalnymi ramkami umożliwiającymi oparcie rąk na klawiaturze bez obawy przypadkowego naciśnięcia klawisza. W klawiaturze jest wiele wbudowanych funkcji przydatnych niepełnosprawnym użytkownikom, np.: regulowany czas reakcji i trwałe klawisze, można podłączyć też dodatkowe przyciski zastępujące funkcje myszy. Wadą klawiatury jest to, że nie obsługuje komputerów z 64-bitowymi systemami operacyjnymi (Windows XP, Windows Vista, Windows 7), a także wielu komputerów z procesorami wielordzeniowymi.
- ❖ Maltron Expanded²⁰ – klawiatura o dużej powierzchni i specjalnej nakładce z otworami (Rys. 8). Odporna na uderzenia, przeznaczona dla użytkowników z małą precyzją rąk i palców. Można ją obsługiwać także palcami stóp. Klawiatura ma wbudowane światełka informujące o stanie wszystkich modyfikatorów (Alt, Ctrl, Shift, Caps Lock, NumLock).

¹⁹ <http://www.harpo.com.pl/>

²⁰ <http://www.maltron.com/>



Rys. 8. Maltron Expanded
Źródło: <http://www.maltron.com/>

3. Systemy i interfejsy łączące funkcje myszy i klawiatury

Wśród niestandardowych rozwiązań umożliwiających obsługę urządzeń wejścia osobom z wielorakimi dysfunkcjami są interfejsy łączące funkcje myszy i klawiatury w jeden system.

3.1. System Sensor²¹ jest zespołem urządzeń elektronicznych umożliwiających sterowanie komputerem oraz innymi urządzeniami przez osoby ze znacznym niedowładem ciała i brakiem sprawności manualnych. System został stworzony przez mgr inż. Romana Biadałę. Składa się z oprogramowania udostępnianego bezpłatnie na stronach Systemu oraz urządzeń takich jak: centralka, czujniki, zasilacz, odbiornik, przyciski, specjalna mysz. Urządzenia i ich zestawy są podane na stronie i w zależności od wersji, z jakiej się chce korzystać można je zamówić i zakupić.

System jest sterowany dwoma rodzajami impulsów pochodzących z dwóch sensorów (czujników). Osoba niepełnosprawna może używać systemu, jeżeli tylko posiada część ciała z minimalną choćby ruchomością (np. powieki, usta, palce, ramię) i może ten minimalny ruch kontrolować. Użytkownik musi też umieć czytać i pisać i świadomie dokonywać wyboru znaku w odpowiednim momencie czasowym. Konieczna jest też kontrola wzrokowa i umiejętność skupienia wzroku na jednym miejscu ekranu. Na ciele użytkownika w odpowiednich miejscach montowane są czujniki (Rys. 9).

²¹ <http://systemsensor.pl/>



Rys. 9. Przykład czujnika zamontowanego w pobliżu ust
Źródło: <http://systemsensor.pl>

Kiedy użytkownik wykonuje nawet minimalny ruch, wówczas aplikacja zainstalowana na komputerze rejestruje ten ruch i uruchamia wymagane polecenia. Kiedy system pracuje w trybie obsługi urządzeń domowych, wtedy funkcję komputera przejmuje centralka i ona steruje odbiornikami (Rys. 10).

Centralka jest wyposażona w dwa przyciski T i S oraz trzy tryby pracy. Przycisk S służy do kalibracji czujnika, a przycisk T do wyboru trybu pracy. System może pracować w trybie z komputerem, w trybie bez komputera oraz w trybie pracy z dodatkowym urządzeniem System Sensor Mysz.



Rys. 10. Centralka System Sensor
Źródło: <http://systemsensor.pl>

Tryb pierwszy pracy z komputerem możliwy jest poprzez aplikację programu „System Sensor” i uruchamia się zaraz po włączeniu. Tryb drugi służy do włączania alarmu, dodatkowego dzwonka, sterowania TV itp. Do sterowania Systemem Sensor Mysz jest używany tryb trzeci.

System Sensor MYSZ ma dwa joysticki, z których każdy ma przypisane określone funkcje odpowiadające funkcjom myszy (Rys. 11). Wewnętrzna pamięć umożliwia dopasowanie parametrów myszy do potrzeb osoby niepełnosprawnej. Całość podłącza się do komputera za pomocą gniazda USB. Urządzenie posiada sześć gniazd do przycisków dających się tak zaprogramować, że możliwa jest obsługa komputera poprzez klawiaturę ekranową. Na stronach Systemu znajdują się wszystkie instrukcje dotyczące pobierania i instalowania poszczególnych części aplikacji.



Rys. 11. System Sensor Mysz
Źródło: <http://systemsensor.pl>

3.2. Blink-It²² – system wykorzystujący mrugnięcia powiekami do kontrolowania zarówno komputera, jak też urządzeń domowych. Przeznaczony dla osób sparaliżowanych niemogących też porozumiewać się z otoczeniem za pomocą mowy (Rys. 12).



Rys. 12. Czujnik mrugnięć systemu Blink-It
Źródło: <http://www.ober-consulting.com/product/blink-it/>

²² <http://www.ober-consulting.com/product/blink-it/>

Czujnik mrugnięć jest zasilany z baterii, a zarejestrowane mrugnięcia poprzez transmisję w podczerwieni są wysyłane do odbiornika połączonego z komputerem za pomocą USB. Wykrywanie mrugnięć realizuje się przez pomiar natężenia światła odbitego od powierzchni oka.

Działanie urządzenia odbywa się poprzez wykorzystanie trzech aplikacji:

- ❖ Mrugopisu, pozwalającego wprowadzać tekst za pomocą hierarchicznego interfejsu wierszowo-kolumnowego.
- ❖ MrugoMyszki, dającej możliwość kontrolowania kursora i wprowadzanie tekstu.
- ❖ Blink-Switcha, pozwalającego wykorzystać Blink-It jako przełącznik do imitowania wciskania klawiszy w odpowiedzi na mrugnięcia.

Całość oprogramowania, razem z wbudowanym klientem poczty elektronicznej, z hierarchicznym interfejsem wierszowo-kolumnowym [1], umożliwia osobom sparaliżowanym kontaktowanie się ze światem zewnętrznym.

System umożliwia wprowadzanie znaków tekstowych za pomocą hierarchicznego interfejsu wierszowo-kolumnowego, który jest elektroniczną wersją alfabetu zapisanego w prostokątnej tablicy. Litery umieszczone są w wierszach a komunikowanie się z chorym następuje poprzez ich wskazywanie. Wybrane wiersze i litery osoba chora potwierdza mrugnięciem. Dla rozbudowania funkcjonalności systemu zmodyfikowano go dodając sekcje tworzące układ hierarchiczny. Sekcje mają podsekcje lub elementy. System reagując na kolejne mrugnięcia osoby chorej wybiera poszczególne litery lub całe polecenia.

Dla systemu Blink-It został opracowany słownik frekwencyjny dla języka polskiego, zawierający nie tylko podstawowe wyrazy ale też wszystkie możliwe odmiany i formy. Słownik jest przydatny w podpowiadaniu częściowo napisanych wyrazów, co w przypadku obsługi systemu przez osobę niepełnosprawną ma ogromne znaczenie.

3.3. System The Grid2²³ – system, którego główną częścią jest oprogramowanie pozwalające na obsługę komputera bez potrzeby używania myszy czy klawiatury. Program obsługują specjalne plansze i aplikacje, a użytkownik ma możliwość sterowania przyciskami, ekranem dotykowym lub np. wskaźnikiem nagłownym, który jest urządzeniem pozwalającym naciskać klawisze z odległości za pomocą wskaźnika przytwierdzonego do opaski założonej na głowę. Z programem jest dostarczany laptop z kartą graficzną Intel HD, napędem DVD-RW, WiFi system Windows 7 lub 8 oraz syntezytor mowy do odczytywania treści wyświetlanych na ekranie. Program The Grid2 działa pod systemem Microsoft Windows XP, Vista, 7, 8 Professional. Nie działa pod Windows 8 RT.

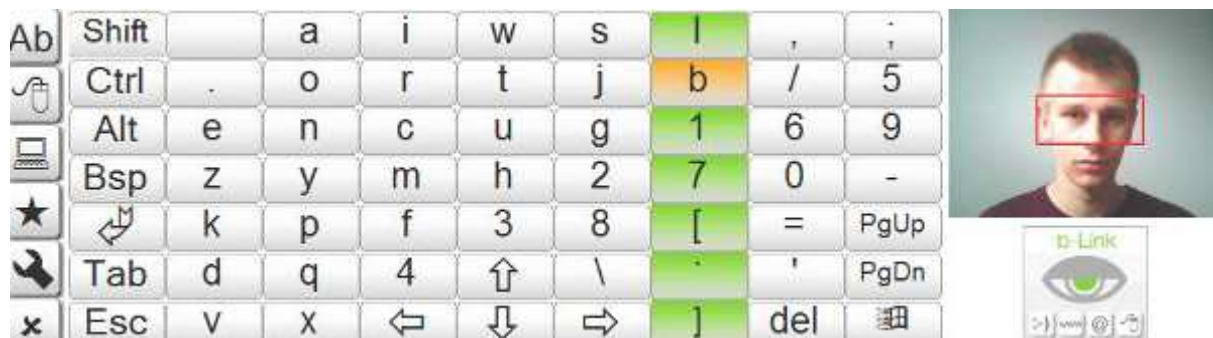
3.4. b-Link²⁴ – program opracowany przez naukowców Zakładu Elektroniki Medycznej Politechniki Łódzkiej. Autorem wersji pierwotnej jest dr Aleksandra Królak. Aplikacja działa na każdym domowym komputerze, a jedynym dodatkowym wymaganym sprzętem jest kamera internetowa. System działa na zasadzie śledzenia oczu i wykrywania zamierzonych (dłuższych niż 250 ms) mrugnięć. Przy każdorazowym uruchomieniu programu z obrazu twarzy użytkownika wydzielany jest obraz oczu. Zamierzone mrugnięcia aktywują przyciski podświetlane iteracyjnie na wirtualnej klawiaturze (Rys. 13).

b-Link ma własny interfejs graficzny, na który składają się:

- klawiatura ekranowa
- mysz ekranowa (Rys. 14)
- menu skrótów
- menu ulubionych
- menu opcji
- menu zamykania systemu.

²³ http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=133&art_id=484

²⁴ http://polscyniepelnosprawni.agh.edu.pl/wp-content/uploads/Instrukcja_uzytkownika_programu_b-Link.pdf



Rys. 13. Interfejs użytkownika b-Link z podświetloną literą b

Źródło: http://polscyniepelnosprawni.agh.edu.pl/wp-content/uploads/Instrukcja_uzytkownika_programu_b-Link.pdf



Rys. 14. Menu myszy ekranowej

Źródło: http://polscyniepelnosprawni.agh.edu.pl/wp-content/uploads/Instrukcja_uzytkownika_programu_b-Link.pdf

Program można bezpłatnie pobrać ze stron internetowych TP i Orange. Jest udostępniony na zasadach open source i może być dalej rozwijany. Wszystkie materiały źródłowe znajdują się pod adresem <http://sourceforge.net/>.

Z kolei pod adresem http://polscyniepelnosprawni.agh.edu.pl/wp-content/uploads/Instrukcja_uzytkownika_programu_b-Link.pdf dostępna jest pełna instrukcja instalacji i obsługi aplikacji krok po kroku.

3.5. Sterowanie komputerem za pomocą mowy

Programy interpretujące mowę ludzką działają dobrze wówczas, kiedy użytkownik ma zachowaną sprawność aparatu artykulacyjnego.

- ❖ Spikit²⁵ – Aplikacja rozpoznająca i wykonująca polecenia głosowe na podstawie wcześniej zdefiniowanych reguł głosowych, które każdy powinien stworzyć dla siebie sam. Korzystając z aplikacji, można tworzyć całe własne

²⁵ <http://www.dobreprogramy.pl/Spikit,Program,Windows,33051.html>

zwroty i dodatkowe słownictwo. Metodą słownikową można tworzyć wiadomości tekstowe. Program ma wbudowany edytor i syntezytor mowy. Umożliwia pełną obsługę myszy i klawiatury łącznie ze skrótami klawiaturowymi. Aplikacja rozpoznaje polskie słowa i nie obciąża zbyt mocno pamięci komputera. Dostępna jest w wersji bezpłatnej pod adresem <http://www.spikit.pl/>.

- ❖ SkryBot²⁶ – program do rozpoznawania i dekodowania mowy do tekstu. Składa się z dekodera oraz modeli akustycznych i językowych. Program m.in. rozpoznaje mowę i zamienia ją na wykonywalne w Windows komendy, co umożliwia sterowanie głosem. Do rozpoznawania mowy polskiej dostępna jest wersja SkryBot doMowy w wersji demonstracyjnej. Jest ona do pobrania bezpłatnie pod adresem: <http://skrybotdomowy.sourceforge.net/>.
- ❖ Face Controller²⁷ jest aplikacją, która wykorzystuje mowę w połączeniu z ruchami głowy, opracowaną przez polskich studentów na konkurs Imagine Cup. Rozwiązanie adresowane do osób niepełnosprawnych pozwala na kontrolowanie komputera za pomocą głowy, przy czym ruchy głową spełniają funkcję myszy, kliknięcie odbywa się poprzez otwarcie ust, a funkcje klawiatury zastępuje mowa. System rozpoznawania mowy pozwala wpisywać całe słowa lub tekst, np. przez literowanie. Aplikacja wykorzystuje czujnik kontroli ruchu znany z systemu Kinect for Windows. Program jest wprawdzie jeszcze w fazie ulepszania, ale już znalazł się w finale krajowej edycji Imagine Cup 2014.

3.6. Komunikacja człowiek-komputer bez udziału ruchu

Komunikacja człowieka z komputerem jest możliwa dzięki interfejsom mózg-komputer [3] (*brain-computer interfaces* – BCI). Przy opracowywaniu takich rozwiązań wykorzystuje się badanie elektrofizjologicznej aktywności mózgu. Pomiar tej aktywności może się odbywać dwojako: poprzez wszczepienie elektrod bezpośrednio do kory mózgowej lub poprzez przetwarzanie sygnałów zarejestrowanych podczas badania EEG. Wszczepianie elektrod jest podejściem inwazyjnym wymagające zabiegu neurochirurgicznego i jako takie jest rzadko

²⁶ <http://skrybot.pl/skrybot-pl-nasze-rozpoznawanie-mowy/>

²⁷ <http://www.pcworld.pl/news/395989/Face.Controller.polscy.studenci.potrafia.html>

stosowane. Alternatywny, nieinwazyjny pomiar aktywności mózgu poprzez jej zapis na elektroencefalogramie (EEG) jest badaniem elektrycznego śladu, jaki zostawia nasza myśl. Podczas badania EEG możliwe jest zarejestrowanie reakcji fal mózgowych badanej osoby. Jeśli badany będzie np. koncentrował wzrok na migoczącym świetle, zostanie zarejestrowana reakcja fal mózgowych na zmiany pojedynczych bodźców świetlnych. Powstałe w ten sposób sygnały są przetwarzane na postać cyfrową tak, aby możliwe było wyodrębnienie oraz interpretacja sygnałów sterujących jakimś urządzeniem. Kluczowa wydaje się w takim wypadku rola wzroku jako narzędzia odbioru bodźców. Sygnały są odbierane jednocześnie z wielu elektrod podłączonych do powierzchni skóry głowy osoby badanej.

W przetwarzaniu zapisów EEG wykorzystywane są trzy rodzaje aktywności mózgu:

- ❖ odpowiedź wywołana SSVEP (*steady state visual evoked potentials*) – wykrywająca zmiany częstotliwościowe w sygnale EEG przy koncentrowaniu się badanego na jednym znaku podczas oglądania matrycy znaków migających z różną częstotliwością
- ❖ odpowiedź wywołana P300, pojawiająca się zazwyczaj po 300 ms od zaistnienia bodźca, np. wychwycenie różnicy pomiędzy reakcją na podświetlenie znaku, o który chodzi myślącemu a reakcją na inne, też podświetlane znaki.
- ❖ zjawisko synchronizacji i desynchronizacji neuronów kory ruchowej ERS/ERD (*event related synchronization/desynchronization*), wykorzystujące różnicę w energii sygnałów.

Badania naukowców zajmujących się projektowaniem interfejsów BCI wskazują na krótki czas, w jakim sygnały EEG odwzorowują zmieniające się stany mózgu. Ten fakt pozwala zakładać, że użycie odpowiedzi wywołanych w interfejsie BCI umożliwi sterowanie komputerem z szybkością większą niż tempo pisania na klawiaturze.

W oparciu o interfejs mózg-komputer produkowane są rozwiązania pozwalające kontrolować myślą zarówno standardowe komputery, jak i urządzenia mobilne. Tworzona jest technologia biosensorów montowanych w urządzeniach ułatwiających monitorowanie czy wykonywanie różnych czynności.

Jednocześnie trwają prace nad rozbudowanymi projektami, w których fale mózgowe wykorzystywane są do sterowania całymi zespołami urządzeń. W 2016 roku zaplanowano mistrzostwa Cybathlon, w których mają uczestniczyć osoby niepełnosprawne korzystające z najnowszych rozwiązań technologicznych wspomagających ludzi z dysfunkcjami motorycznymi. Na zbliżających się mistrzostwach świata w piłce nożnej zaprezentowany zostanie egzozoskielet, w którym, poprzez sterowanie falami mózgowymi, poruszać się będzie osoba sparaliżowana.

4. Opis rozwiązań stosowanych podczas obsługi komputera przez autora pracy

Dla dobrego zrozumienia sposobu obsługi urządzeń wejścia w tym przypadku konieczne jest krótkie przedstawienie postaci niepełnosprawności autora pracy dlatego, że stopień i rodzaj dysfunkcji determinują możliwość obsługi komputera w ściśle określony sposób.

W sytuacji niepełnosprawności ruchowej człowiek zazwyczaj wypracowuje sobie jakieś mechanizmy kompensacyjne, pozwalające zrównoważyć dysfunkcję jednej części ciała działaniem innej, sprawniejszej jego części. W przypadku autora pracy, pozbawionego kontroli motoryki całego ciała, okazało się to szczególnie skomplikowane z powodu stałych gwałtownych ruchów mimowolnych. Wykluczają one sprawność kończyn, a nawet możliwość samodzielnego siedzenia. Komplikacja w tej konkretnej sytuacji polega na nadmiarze ruchów rąk i nóg. Kończyny nie tylko pozbawione są funkcjonalności własnych, ale poprzez ciągłe wytrącanie całego ciała z równowagi utrudniają ich kompensację. Dłonie i palce wykonują dystoniczne zgięcia i wyprosty. Z powodu dysfunkcji aparatu artykulacyjnego i spastyczności zaburzona jest mowa i ruchy warg. Cechą niepełnosprawności w tym konkretnym przypadku jest to, że autor, mimo iż nie jest w stanie przyjąć samodzielnie postawy siedzącej ani stojącej nie jest unieruchomiony ani sparaliżowany, a wręcz przeciwnie – w pozycji leżącej całe ciało nieustannie się porusza, a autor samodzielnie jest w stanie odwracać się z leżenia na plecach do leżenia na brzuchu.

Głowa jest jedyną częścią ciała, której ruch do pewnego stopnia poddaje się kontroli i może zostać użyty do sterowania komputerem. Poruszanie głową pozwalające na sterowanie czymkolwiek jest jednak możliwe tylko wtedy, kiedy zminimalizuje się przeszkadzające gwałtowne ruchy rąk. Może się to odbyć dwojako:

- poprzez przymocowanie ciała w pozycji siedzącej na wózku inwalidzkim z rękoma przypiętymi pasami do poręczy wózka,
- poprzez leżenie całego tułowia w pozycji na brzuchu, co w sposób naturalny, bez potrzeby przypinania, minimalizuje ruchy rąk.

W pozycji siedzącej z przypiętymi rękoma możliwe jest użycie specjalnego stelaża przykręconego do wózka. Do stelaża przymocowana jest klawiatura, którą autor może obsługiwać ruchami nosa i brody. W takiej pozycji jest możliwe też operowanie myszą z trackballem. Takie wyjście ma jednak ograniczone zastosowanie, ponieważ w tej pozycji autor nie może pozostawać zbyt długo z powodu postępującej skoliozy i dotkliwych bólów całego kręgosłupa. Ponadto w wyniku długotrwałego (np. ponad godzinę) przymocowania ciała w pozycji siedzącej uaktywniają się dystoniczne ruchy kończyn poruszające tułowiem i utrudniające nawet utrzymanie nieruchomo głowy.

Z podanych powodów nie znajdują, w przypadku autora, zastosowania żadne urządzenia oparte na użyciu rąk – nawet w ograniczonym zakresie. Bardzo problematyczna okazała się próba skorzystania z ekranu dotykowego, ponieważ konieczne było dotknięcie go ustami lub brodą. Przy ogromnej czułości ekranu na dotyk obsługa była bardzo powolna, z ogromną ilością błędów. Jednocześnie przy dotykaniu ustami obraz z ekranu znajdował się w tak bliskiej odległości od oczu, że na dłuższą metę byłoby to niebezpieczne dla wzroku. Próbowano zastosować wskaźnik nagłowny do obsługi klawiatury – jednak bez powodzenia, ponieważ kontrolowanie jakiegokolwiek urządzenia ruchem głowy z odległości przekraczającej kilka centymetrów okazało się niemożliwe. Precyzyjne trafienie w klawisze jest możliwe ruchem głowy tylko wówczas, kiedy głowa znajduje się dokładnie na wprost klawisza w bardzo małej odległości, przy czym ekran musi być oddalony tak, aby zapewniał normalne pole widzenia.

Przy użyciu wskaźnika umieszczonego na głowie, w miarę wzrostu odległości kursora lub klawiszy od głowy, prawdopodobieństwo trafienia w zamierzony punkt (np. klawisz na ekranie lub zatrzymanie kursora w określonym miejscu ekranu) maleje aż do zera. Niemożliwe jest osiągnięcie takiej płynności i precyzji ruchów głowy, aby w pozycji siedzącej z odległości kilkunastu centymetrów kontrolować urządzenia takie jak Mrugomysz czy Mrugopis w systemie Blink-It. Z tych samych powodów okazało się niemożliwe skorzystanie z programu B-Link. Autorowi zaproponowano

przetestowanie programu w obecności autorki tego rozwiązania – dr Aleksandry Królak. Gwałtowne ruchy głowy podczas testowania uniemożliwiały prawidłowe wykrycie obrazu oczu.

Fragment nagrania z tego testu jest dostępny pod adresem: http://uwaga.tvn.pl/28322,news,,oczy_i_komputer,reportaz.htm.

Dystoniczne ruchy kończyn i mimowolne poruszanie się całego ciała udaremniają autorowi skorzystanie z większości istniejących rozwiązań. Z powodu niewyraźnej artykulacji głosek nie znajdują też zastosowania istniejące programy oparte na rozpoznawaniu mowy. Niemożliwe jest również korzystanie z systemów opartych na technologii zasysania i dmuchania urządzeń sterujących z powodu braku możliwości kontrolowanego i nieruchomego trzymania przedmiotów w ustach. W rozwiązaniu opartym na czujnikach użytych w Systemie Sensor sterowanie kontrolerami odbywa się poprzez poruszanie czujników minimalnymi ruchami. W przypadku ruchów, które nie są minimalne, ale gwałtowne, czasem też nieprzewidywalne, System Sensor nie może działać precyzyjnie.

Nie znajdując wśród nowych ofert technologicznych rozwiązania, które byłoby dla niego ułatwieniem w obsłudze komputera, autor postanowił pozostać przy standardowym oprzyrządowaniu zmieniając jedynie sposób jego obsługi.

W sytuacji tak wielu ograniczeń motorycznych autor skoncentrował się na ustaleniu pozycji ciała, w której zapewnione byłyby następujące warunki:

- możliwość obsługi klawiatury i myszy komputerowej bezpośrednio poprzez dotykanie klawiszy nosem lub brodą,
- ustawienie ekranu w odległości od oczu takiej, jak w przypadku osób zdrowych,
- możliwość pracy przy klawiaturze przez dłuższy czas i zmiany pozycji ciała w sytuacji zmęczenia bez potrzeby wzywania pomocy opiekuna.
- maksymalne ograniczenie ruchów rąk.

Spełnienie wszystkich tych warunków okazało się możliwe w przypadku obsługi urządzeń wejścia w pozycji leżenia na brzuchu. Stanowisko pracy z komputerem wymagało więc pewnego przystosowania.

Komputer wraz z monitorem został umieszczony na podłodze. Przed monitorem w wymaganej odległości położone zostały materace, na których możliwe jest swobodne leżenie autora w pozycji na brzuchu. Kluczowe urządzenia sterujące, czyli klawiatura i mysz z trackballem znajdują się przed twarzą użytkownika (Rys. 15).



Rys. 15. Obsługa komputera w pozycji leżenia na brzuchu
Źródło: Opracowanie własne

Klawiatura przedstawiona na Rys. 15 jest klawiaturą typu mini. Mimo zmniejszonych rozmiarów dosięgnięcie poszczególnych skrajnie położonych klawiszy wymaga od autora znacznych wychyleń głowy na boki oraz dodatkowo wychyleń głowy w celu dosięgnięcia leżącej obok myszy. Powoduje to silne dolegliwości bólowe szyjnej części kręgosłupa, zwłaszcza po wielu godzinach pracy. Dlatego autor postanowił zastąpić widoczną na Rys. 15 klawiaturę jeszcze mniejszą klawiaturą numeryczną, która dodatkowo zawiera wbudowany trackball myszy (Rys. 16).



Rys. 16. Obsługa klawiatury numerycznej z trackballem
Źródło: Opracowanie własne

Aby klawiatura numeryczna widoczna na Rys. 16 mogła przejąć wszystkie funkcje pełnej klawiatury, konieczna była jej modyfikacja, która jest szczegółowo opisana w rozdziale II pracy.

Zastosowanie zmodyfikowanej klawiatury numerycznej w sposób znaczny ograniczyło konieczność wychyleń głowy na boki i złagodziło bóle szyi użytkownika.

Opisane stanowisko do obsługi urządzeń wejścia przez autora ma w tym konkretnym przypadku jedną wielką zaletę: umożliwia zmianę pozycji ciała bez konieczności angażowania innej osoby do pomocy. Stanowisko znajduje się na podłodze, jest więc bezpiecznym miejscem, gdzie nie ma obawy o to, że niepełnosprawny użytkownik zsunie się czy spadnie. Pozycja leżąca umożliwia pozostawanie rąk bez przypinania paskami (co w pozycji siedzącej jest niemożliwe). Ręce wprawdzie poruszają się w trakcie pracy autora, ale w zakresie, jaki nie przeszkadza w obsłudze urządzeń. W sytuacji, kiedy praca trwa długo i autor odczuwa zmęczenie mięśni szyi czy kręgosłupa, możliwe jest odwrócenie się do pozycji leżenia na plecach dla odpoczynku. Po odpoczynku wystarczy ponowne odwrócenie się i powrót do urządzeń kontroli komputera.

Podczas obsługi urządzeń wejścia autor korzysta z dostępnych w systemie Windows ułatwień takich jak:

dot. klawiatury:

- klawisze trwałe
- klawisze filtru
- klawisze sygnalizujące dźwiękiem naciśnięcie

dot. myszy:

- regulacja szybkości kursora
- funkcja blokady kliknięcia.

II. Zmodyfikowana klawiatura osobista – założenia projektu

Projekt będący częścią niniejszej pracy magisterskiej, opracowany dla systemu Windows, jest rozwiązaniem adresowanym do konkretnego użytkownika, którym jest autor tej pracy. Założeniem podstawowym projektu jest dostosowanie funkcjonalności wybranej klawiatury do użytku przez osobę pozbawioną możliwości obsługi urządzeń wejścia w sposób standardowy. Zmodyfikowana klawiatura ma docelowo zastąpić używaną wcześniej przez autora klawiaturę standardową. Rozdział wyjaśnia potrzebę indywidualizacji zastosowanych rozwiązań oraz opisuje szczegóły zmiany funkcjonalności modyfikowanej klawiatury.

1. Konieczność modyfikacji klawiatury wynikająca ze specyfiki dysfunkcji autora pracy

Projekt modyfikacji klawiatury numerycznej powstał w wyniku obserwacji sposobu wprowadzania danych przez autora i powstających przy tym trudności. Warto przypomnieć, że w komunikacji z komputerem autor może korzystać jedynie z ruchów głowy i szyi, oraz że znajduje się w tym czasie zawsze w pozycji leżącej na brzuchu. Naciskanie klawiszy nosem lub brodą wymaga wychylania szyi na boki w taki sposób, aby możliwe było dotknięcie wszystkich klawiszy z każdej strony. W trakcie obsługi komputera wykonywane jest więc kilka rodzajów ruchów:

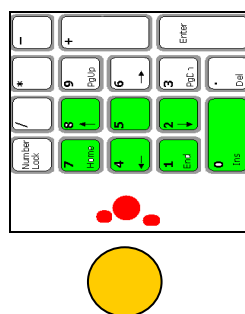
- ruchy głowy w górę i w dół,
- odwracanie głowy na boki,
- obroty głowy z jednoczesnym wygięciem szyi w stronę klawiszy bocznych,
- dodatkowe ruchy głowy w stronę myszy leżącej obok klawiatury.

Długotrwałe przebywanie w opisanej pozycji z jednoczesnym wykonywaniem wszystkich wymienionych ruchów i wychyleń szyi stało się z czasem dokuczliwe i bolesne. Powtarzane wygięcia szyi powodują nadmierne rozciąganie mięśni całego pasa barkowego. Zaobserwowano, że po kilkudziesięciu minutach takiej obsługi komputera spada szybkość wprowadzania danych, a zmęczenie mięśni zmusza autora do przerywania pracy. Wydaje się, że rozwiązaniem tego problemu może być ograniczenie wychyleń głowy i szyi poprzez zmniejszenie rozmiarów klawiatury oraz zastosowanie myszy wbudowanej w tę klawiaturę. Jednocześnie należy podkreślić, że fakt naciskania klawiszy nosem i brodą ogranicza

w pewien sposób możliwość zmniejszania samych klawiszy (nie mogą być one tak małe jak np. w telefonie komórkowym). Postanowiono więc zastosować klawiaturę o znacznie zmniejszonej powierzchni całkowitej, z zachowaniem jednak rozmiaru klawiszy i wszystkich ich funkcji. Takie warunki mogą zostać spełnione przy użyciu klawiatury numerycznej i zmianie funkcjonalności poszczególnych jej klawiszy. Wybrany został prosty model takiej klawiatury z wbudowanym trackballem (w posiadaniu autora).

Przedstawiony schemat klawiatury (Rys. 17) w bocznym układzie pokazuje, że w takim właśnie położeniu względem głowy autora znajduje się ona podczas pracy (czerwone plamki oznaczają kulkę trackballa i przyciski, żółte kółko oznacza głowę obsługującego). Klawisze oznaczone zielonym kolorem są w takim ustawieniu najbliższe głowie, a to z kolei jest zależne od położenia trackballa na obudowie klawiatury. Nie można jednak wykluczyć, że aktualnie używany model klawiatury ulegnie uszkodzeniu i trzeba go będzie zastąpić innym, w którym trackball będzie wbudowany w innym miejscu. W takiej sytuacji autor, chcąc dotrzeć głową kulki będzie zmuszony odwrócić klawiaturę, wskutek czego najbliższe głowie znajdą się inne klawisze niż te, które były najbliższe w poprzednim modelu. Stwarzałoby to duży problem, ponieważ w sytuacji osoby z opisywanymi dysfunkcjami głowa, będąca „narzędziem” obsługującym urządzenie, porusza się jedynie w ograniczonym zasięgu.

Warto też założyć możliwość przetestowania układów z kilkoma różnymi położeniami trackballa w celu znalezienia rozwiązania optymalnego dla autora. Modyfikacja klawiatury musi więc uwzględnić wymaganie, aby zawsze przy dowolnym odwróceniu klawiatury klawisze używane najczęściej, z racji swoich funkcji, znalazły się najbliższe głowie autora. Sposób rozwiązania tego problemu opisany jest szczegółowo w punkcie 2 niniejszego rozdziału (str. 31-32).



Rys. 17. Schemat klawiatury w układzie bocznym

Źródło: opracowanie własne

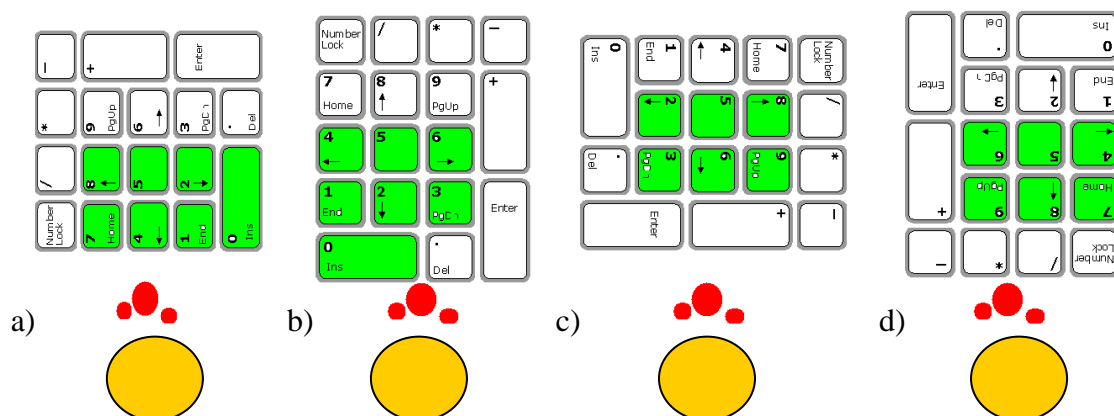
2. Opis szczegółowy modyfikacji klawiatury

Realizację wyżej opisanych założeń poprzedziło zdefiniowanie wymagań funkcjonalnych, a także analiza problemów, jakie trzeba będzie rozwiązać, aby osiągnąć cel, którym jest optymalne przystosowanie klawiatury do użytku przez osobę pozbawioną sprawności manualnych. Modyfikacja urządzenia polega na zmianie funkcji każdego z dziesięciu klawiszy numerycznych. Te klawisze w zmodyfikowanej wersji będą używane nie pojedynczo, ale jako dwuklawiszowe kombinacje.

Dwuklawiszowe kombinacje – termin przyjęty przez autora na użytek niniejszej pracy. Kombinacje dwóch klawiszy pozwalają na zakodowanie 10^2 znaków, co pozwoli zmieścić w takich kombinacjach minimum znaków potrzebnych do wykorzystania przez autora podczas pracy ze zmodyfikowaną klawiaturą.

Każdej z kombinacji został przypisany znak lub ciąg znaków. Aby wyjaśnić system przypisań konieczne jest przybliżenie problemu dostosowania funkcjonalności klawiatury do korzystania z niej w dowolnym odwróceniu (zawsze takim, aby kulka trackballa była najbliżej głowy autora).

Przyjęto, że mogą wystąpić cztery modele usytuowania trackballa na obudowie klawiatury (Rys. 18):



Rys. 18. Cztery modele usytuowania trackballa na obudowie klawiatury
Źródło: opracowanie własne

Widoczne jest, że w każdym z tych układów inny zestaw klawiszy numerycznych znajduje się najbliżej głowy autora. W układach a) i b) jest to siedem klawiszy, a w układach c) i d) jest to 6 klawiszy. Zatem w każdym z czterech układów znajduje się co najmniej 6 klawiszy najbliższych, do których zostały przypisane najważniejsze znaki i ciągi znaków.

W celu ustalenia szczegółów i kolejnych kroków realizacji przypisać każdy z możliwych układów klawiatury zobrazowany został jako 10-elementowa **lista L**.

Elementami listy są klawisze klawiatury numerycznej. Indeksacja elementów listy odpowiada ich kolejności wyznaczonej według najłatwiej dostępnego, przy danym położeniu klawiatury, dostępu do poszczególnych klawiszy. Listy poszczególnych układów:

układ a) $L = [\mathbf{0 1 2 4 5 7} 8 3 6 9]$

układ b) $L = [\mathbf{0 1 2 3 4 5} 6 7 8 9]$

układ c) $L = [\mathbf{3 6 9 2 5 8} 1 4 7 0]$

układ d) $L = [\mathbf{7 8 9 4 5 6} 1 2 3 0]$

(pogrubioną czcionką zaznaczono najłatwiej dostępne klawisze).

Cały zbiór klawiszy numerycznych określono jako **zbiór K**. Minimalny zbiór klawiszy, do których w dowolnym układzie jest najbliższy dostęp oznaczono jako **zbiór minK**.

Przy kombinacji dwuklawiszowej, wykorzystując tylko 6 najłatwiej dostępnych klawiszy, możliwe jest zakodowanie (przypisanie) 36 znaków lub ciągów znaków. Do sprawnego pisania za pomocą klawiatury numerycznej należało zakodować zestaw 62 znaków (ciągów znaków) przedstawionych w tabeli (Tab. 1). Zostały one wyznaczone przez autora jako minimalna ilość znaków koniecznych do zakodowania pod określonymi kombinacjami klawiszy.

Do sprawnego używania klawiatury autor przyjął za niezbędny następujący zestaw:

- | | |
|---|-------------|
| - alfabet łaciński | - 26 znaków |
| - cyfry arabskie | - 10 znaków |
| - funkcje - ctrl, alt, shift, home, insert, end | - 6 znaków |
| - ciągi często używane - ctrl+alt+del, ctrl+c, ctrl+v | - 3 znaki |
| - zestaw nawiasów - (), { }, [], <> | - 4 znaki |
| - strzałki kierunkowe | - 4 znaki |
| - ciągi - kropka, średnik, cudzysłów, apostrof | - 4 znaki |
| - znaki równości i back slash | - 2 znaki |
| - znaki spacja i tabulator | - 2 znaki |
| - znak odwróconego apostrofu | - 1 znak |

Łącznie są to 62 znaki, jakie co najmniej muszą zostać zakodowane pod kombinacjami klawiszy. Założono, że wielkie litery oraz polskie znaki diakrytyczne uzyskuje się poprzez kombinację klawiszy shift/alt+litera. W zestawie 62 znaków nie ma też znaków: *escape, slash, gwiazdki, backspace, minus, plus, przecinek* oraz *enter*.

Te znaki pozostaną aktywne pod jednym klawiszem (nie będą podlegały modyfikacji). Nie zakodowano również przecinka ponieważ w polskim układzie klawiatury znak ten uzyskuje się przez naciśnięcie kropki na klawiaturze numerycznej.

Zestaw 62 znaków oznaczono jako **zbiór Z**.

Tab. 1. Tabela **zbioru Z**

Ciąg znaków	Liczba kombinacji	Ciąg znaków	Liczba kombinacji	Ciąg znaków	Liczba kombinacji
Alfabet łaciński	26	Crtl+Alt+Del Crtl+c, Ctrl+v	3	, ‘ ’ ;	5
Cyfry arabskie	10	nawiasy	4	= \	2
Crtl, Alt, Shift, Home, Insert, End	6	strzałki kierunkowe	4	spacja, tab	2

Źródło: opracowanie własne

Wszystkich 62 znaków nie da się jednak przypisać do klawiszy ze zbioru minK, zatem ze zbioru Z wybrano podzbiór 36 znaków najczęściej używanych podczas pisania. Oznaczono je jako podzbiór **M**. Wyboru dokonano w oparciu o tabelę częstotliwości występowania liter alfabetu polskiego w tekście²⁸, dodając do zbioru oprócz liter, najbardziej potrzebne znaki interpunkcyjne i znaki specjalne. Powstały w ten sposób 36-elementowy podzbiór **M** ma zawartość odpowiadającą znakom umieszczonym w tabeli przypisań TM (Tab. 2). Pozostałe 26 znaków określono jako podzbiór **P**, którego zawartość odpowiada znakom z tabeli przypisań TP (Tab. 3). Zostały one przypisane do indeksów odpowiadających kombinacjom różnych klawiszy z całego zbioru K. Szczegółowy wykaz przypisań do indeksów przedstawiono w tabelach przypisań TM oraz TP.

Tab. 2. Tabela przypisań TM

L(0) L(0) =space	L(2) L(0) =ctrl	L(4) L(0) ='+lewo
L(0) L(1) =ctrl-c	L(2) L(1) =c	L(4) L(1) =()+lewo
L(0) L(2) =alt	L(2) L(2) =e	L(4) L(2) ={}+lewo
L(0) L(3) =shift	L(2) L(3) =s	L(4) L(3) =[]+lewo
L(0) L(4) =""'+lewo	L(2) L(4) =d	L(4) L(4) =o
L(0) L(5) =.	L(2) L(5) =k	L(4) L(5) =b
L(1) L(0) =ctrl-v	L(3) L(0) =;	L(5) L(0) =\
L(1) L(1) =a	L(3) L(1) =m	L(5) L(1) =p
L(1) L(2) =z	L(3) L(2) =t	L(5) L(2) =tab
L(1) L(3) =n	L(3) L(3) =i	L(5) L(3) = '='
L(1) L(4) =r	L(3) L(4) =j	L(5) L(4) =y
L(1) L(5) =w	L(3) L(5) =l	L(5) L(5) =u

Źródło: opracowanie własne

²⁸ http://leksykot.top.hell.pl/tech/czestotliwosc_znakow

Tab. 3. Tabela przypisań TP

L(0) L(7)=End	L(1) L(9)=q	L(2) L(7)=g	L(3) L(7)=f	L(6) L(1)=góra
L(0) L(8)=Home	L(7) L(0)=0	L(9) L(8)= <>+lewo	L(3) L(8)=x	L(6) L(2)=dół
L(0) L(9)= Ctrl+Alt+Del	L(7) L(1)=1	L(2) L(9)=v	L(6) L(7)=6	L(6) L(3)=lewo
L(1) L(7)=h	L(7) L(2)=2	L(7) L(4)=4	L(7) L(7)=7	L(6) L(4)=prawo
L(1) L(8)=insert	L(7) L(3)=3	L(7) L(5)=5	L(7) L(8)=8	L(7) L(9)=9
L(9) L(9)=` (odwrócony apostrof)				

Źródło: opracowanie własne

W tabelach TM (Tab. 1) oraz TP (Tab. 3) użyto następujących oznaczeń:

- $L(x_1) L(x_2)=y$, gdzie x_1, x_2 = numery indeksów, y = znak przypisany do kombinacji, np. $L(3) L(7)=f$ oznacza, że do indeksów 3 i 7 z listy L (w układzie **a**) odpowiada to kombinacji klawiszy 4 i 3) przypisano literę f,
- $L(x_1) L(x_2)={\}+lewo$, gdzie formuła **+lewo** oznacza zawsze powrót kursora o jedną pozycję w lewo, np. $L(9) L(8)+\langle\rangle+lewo$ oznacza, że kursor automatycznie wróci przed znak >
- $L(x_1) L(x_2)=\mathbf{góra, dół, prawo, lewo}$, gdzie słowa: **góra, dół, prawo, lewo** oznaczają strzałkę o danym kierunku.

Ponadto zastosowano kodowanie „akcji pustej”(termin utworzony przez autora).

Akcja pusta – operacja stosowana wtedy, kiedy pierwszy z klawiszy kombinacji zostanie błędnie naciśnięty. Jeżeli autor chce użyć kombinacji klawiszy 3 i 4, a pomyłkowo zamiast 3 wciśnie 5 – nie może wprowadzić znaku, jaki zamierzał. Jeśli pomyłkowe wprowadzenie pierwszej cyfry kombinacji zostanie zauważone, to użytkownik ma wtedy do dyspozycji kombinację błędnie wciśniętego klawisza z klawiszem odpowiadającym indeksowi 6 na liście L. Ta operacja generuje ”akcję pustą” i bez wprowadzania jakiegokolwiek znaku powoduje powrót do oczekiwania na użycie właściwej kombinacji.

Znaki puste mogą być wprowadzane poprzez kombinacje klawiszy wg indeksów:

L(0) L(6), L(1) L(6), L(2) L(6), L(3) L(6), L(4) L(6),
L(5) L(6), L(6) L(6), L(7) L(6), L(8) L(6), L(9) L(6).

3. Funkcjonalności klawiatury w nowej wersji

Używając określenia „nowa wersja” warto zwrócić uwagę na podwójne jego rozumienie. Zmodyfikowana klawiatura posiada nowy zakres funkcjonalności i dzięki temu stała się urządzeniem bardziej uniwersalnym niż w wersji poprzedniej. Te funkcjonalności zostały zaprogramowane tak, aby w najdrobniejszych szczegółach odpowiadały potrzebom konkretnego użytkownika. Modyfikacja klawiszy numerycznych pozwoliła stworzyć nowe narzędzie wprowadzania danych, które zastępuje wcześniej używaną przez autora, niewygodną w obsłudze klawiaturę alfanumeryczną. Jest to, zgodnie z nazwą projektu, *zmodyfikowana klawiatura osobista*. Może ona przyczynić się do zwiększenia tempa pracy autora, minimalizacji jego wysiłku oraz ogólnej poprawy ergonomii indywidualnego stanowiska obsługi komputera.

Program modyfikujący obsługę klawiatury numerycznej pozwala na wykonanie następujących operacji:

- wybór układu klawiszy względem położenia trackballa na obudowie
- wprowadzanie liter alfabetu łacińskiego z polskimi znakami diakrytycznymi
- wprowadzanie cyfr oraz znaków specjalnych
- wprowadzanie wieloelementowych ciągów znaków
- używanie klawiszy funkcyjnych
- definiowanie nowych ciągów znaków wraz z ich przypisywaniem do kombinacji klawiszy
- zmianę istniejących ciągów znaków
- wyświetlanie listy znaków przypisanych.

Jako domyślny zaprogramowany został układ klawiatury zgodny z układem a) na Rys. 18.

W sytuacji, kiedy konieczna jest zmiana modelu klawiatury, na którym trackball jest w innym miejscu na obudowie, autor może odwrócić klawiaturę, aby łatwo dosięgnąć kulki. Odpowiednio do tego obrotu wybiera wówczas układ klawiatury a, b, c, lub d. W wybranym układzie program wyświetla okno przedstawiające sposób przypisań znaków do odpowiednich klawiszy.

Wprowadzanie znaków lub ciągów znaków odbywa się poprzez wciśnięcie dwuklawiszowej kombinacji. Program określa indeksy listy L, pod którymi znajdują się

wciśnięte klawisze, po czym sprawdza, czy w tablicy przypisań pod danymi indeksami znajduje się ciąg znaków. Jeśli tak, wysyła go na ekran.

Podczas definiowania nowych ciągów znaków autor w wyświetlonym oknie „nowy znak” wybiera parę klawiszy oraz wprowadza ciąg znaków. Program określa indeksy listy L, pod którymi znajdują się wybrane klawisze, po czym sprawdza, czy na liście L pod określonymi indeksami znajduje się ciąg znaków. Jeśli nie – przypisuje tym indeksom wprowadzony ciąg znaków.

Program posiada też możliwość generowania listy dostępnych znaków podczas wprowadzania kombinacji. Jest to pomocne na pierwszym etapie korzystania z nowej wersji klawiatury, kiedy autor jeszcze nie do końca pamięta, jakie znaki pod danymi klawiszami są zakodowane.

Przewidziana jest możliwość rozszerzania modyfikacji o dalsze funkcje takie, jak:

- sygnalizacja naciśnięcia klawisza
- wprowadzanie znaków za pomocą kombinacji trzech klawiszy, co pozwoli kodować większą liczbę ciągów.

III. Testowanie zmodyfikowanego urządzenia i rezultaty testów

1. Kryteria przyjęte na potrzeby testu

Dla sprawdzenia funkcjonalności zmodyfikowanej klawiatury zaplanowano wykonanie testów pod kątem następujących kryteriów:

- a) szybkości wprowadzania danych
- b) ergonomii stanowiska pracy.

Przy kryterium szybkości za punkt odniesienia przyjęto szybkość wprowadzania danych z wykorzystaniem wcześniej używanej klawiatury standardowej.

Kryterium ergonomii stanowiska pracy rozpatrywane jest w dwóch aspektach:

- a) możliwości ograniczenia nadmiernych obciążeń układu mięśniowo szkieletowego w związku z wykonywaniem powtarzalnych wychyleń głowy na boki
- b) możliwości obsługi zmodyfikowanej klawiatury w pozycji siedzącej oraz precyzyjne dostosowanie jej usytuowania do zasięgu bocznego głowy i pola najlepszej percepcji wzrokowej.

Przy kryterium ergonomii punktem odniesienia będzie również praca z klawiaturą standardową i wymienione aspekty ergonomii przy jej użyciu.

2. Przebieg testów

2.1. Test szybkości wprowadzania danych

Test szybkości wprowadzania znaków przeprowadzono na trzech rodzajach tekstów:

- tekst ciągły – miarą jest liczba znaków wprowadzona w ciągu 10 minut
- tekst zawierający wzory matematyczne z zastosowaniem miary jak przy tekście ciągłym
- tekst złożony z linii kodu źródłowego w języku programowania – poza liczbą wprowadzonych znaków brano pod uwagę też liczbę linii kodu wprowadzoną w ciągu 10 minut.

Wprowadzanie odbywało się najpierw przy użyciu klawiatury standardowej, następnie przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej.

Każdy z testów przeprowadzono 4-krotnie przyjmując jako wynik ostateczny średnią arytmetyczną czterech uzyskanych wyników.

Zestawienie wyników przedstawione zostało w tabelach: (Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6).

Tab. 4. Tabela wprowadzania tekstu ciągłego

Klawiatura zwykła		Klawiatura numeryczna	
Nr testu	Liczba znaków	Nr testu	Liczba znaków
1	222	1	191
2	250	2	198
3	231	3	209
4	217	4	215
średnia = 230 znaków w ciągu 10 min		średnia = 203 znaków w ciągu 10 min	

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5. Tabela wprowadzania tekstu z wzorami matematycznymi

Klawiatura zwykła		Klawiatura numeryczna	
Nr testu	Liczba znaków	Nr testu	Liczba znaków
1	136	1	167
2	185	2	177
3	194	3	152
4	194	4	175
średnia = 177 znaków w ciągu 10 min.		średnia = 167 znaków w ciągu 10 min.	

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 6. Tabela wprowadzania tekstu złożonego z linii kodu programu

Klawiatura zwykła		Klawiatura numeryczna	
Nr testu	Liczba znaków/linii kodu	Nr testu	Liczba znaków/linii kodu
1	227/10	1	250/11
2	195/9	2	252/11
3	236/11	3	259/12
4	223/10	4	284/12
średnia = 220 znaków /10 linii kodu/10 min.		średnia = 261 znaków /11,5 linii kodu/10 min.	

Źródło: Opracowanie własne

2.2. Test ergonomii stanowiska pracy

Autor podczas pisania pracy magisterskiej korzystał w pozycji leżącej początkowo z klawiatury standardowej. Od 1 kwietnia 2014 r. zmienił ją na zmodyfikowaną klawiaturę numeryczną i od tej pory jest ona w stałym użyciu. Podczas używania każdej z klawiatur zachowane było takie samo położenie każdej z nich oraz takie same pozycje ułożenia ciała autora (patrz rozdz. I. Rys.15 i 16).

Ponadto testowano możliwość używania obu klawiatur przez autora siedzącego na wózku inwalidzkim. Na specjalnym stole i podstawie były mocowane kolejno obydwie

klawiatury. Próba obsługi klawiatury standardowej zamocowanej na stelażu nie powiodła się. Natomiast użycie zmodyfikowanej klawiatury numerycznej zamocowanej na stelażu przeprowadzono z powodzeniem. Stelaż umożliwia regulację odległości urządzenia od głowy użytkownika tak aby zapewniony był wygodny dostęp do wszystkich klawiszy i trackballa (Rys. 19). W ten sposób autor po raz pierwszy miał możliwość samodzielnej obsługi komputera w pozycji siedzącej.



Rys. 19. Zmodyfikowana klawiatura numeryczna zamontowana na stelażu
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 20. Autor obsługujący zmodyfikowaną klawiaturę zamontowaną na stelażu
Źródło: Opracowanie własne

3. Opis wyników testów

3.1. Wyniki testów szybkości wprowadzania danych

Na podstawie wyników z Tabeli 4. oraz Tabeli 5. stwierdzono, że w ciągu 10 minut przy użyciu standardowej klawiatury wprowadzono więcej znaków tekstu ciągłego a także więcej znaków tekstu zawierającego wzory matematyczne niż przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej.

Wyniki z Tabeli 6. z kolei wskazują, że przy wprowadzania tekstu złożonego z linii kodu sytuacja jest odwrotna - więcej znaków a tym samym więcej linii kodu w tym samym przedziale czasowym wprowadzono używając zmodyfikowanej klawiatury numerycznej.

Wnioski:

- Przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej wprowadzanie tekstu ciągłego lub tekstu z wzorami matematycznymi odbywa się nieznacznie wolniej niż przy użyciu standardowej klawiatury.
- Przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej wprowadzanie tekstu złożonego z linii kodu programu komputerowego odbywa się szybciej niż przy użyciu standardowej klawiatury.

Testy szybkości pokazały, że przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej szybkość wprowadzania danych nieznacznie się zmniejszyła. Przepuszczalnie jest to wynikiem zbyt małej jeszcze wprawy w korzystaniu z kombinacji klawiszy. Można założyć, że po dłuższym czasie korzystania z klawiatury szybkość pisania wzrośnie. Warto zauważyć, że pomyślne wyniki uzyskano w przypadku wprowadzania danych w postaci znaków kodu źródłowego w języku programowania. Ma to swoje uzasadnienie w kombinacjach klawiszy zaprogramowanych przez autora specjalnie do pisania kodu. Na przykład w kodzie informatycznym często występują nawiasy, dlatego przypisano je do kombinacji klawiszy w taki sposób, aby poprzez naciśnięcie jednej tylko kombinacji wykonana została sekwencja otwarcia nawiasu, jego zamknięcia oraz powrotu kursora pomiędzy te nawiasy. Nie bez znaczenia dla szybkości jest też fakt, że podczas pisania kodu bardzo często używanym klawiszem jest klawisz *enter*, będący jednym z najłatwiej dostępnych na klawiaturze numerycznej.

3.2. Wyniki testów ergonomii stanowiska pracy

W odniesieniu do możliwości ograniczenia nadmiernych obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego będących wynikiem wychyleń głowy na boki test pokazał, że korzystając z klawiatury standardowej autor odczuwa często dokuczliwe bóle w odcinku szyjnym kręgosłupa. W okresie, kiedy używana była zmodyfikowana klawiatura numeryczna bóle takie znacznie się zmniejszyły. Można przyjąć, że powodem ograniczenia dolegliwości były mniejsze rozmiary klawiatury numerycznej oraz fakt, że zawiera ona wbudowany trackball. Użytkownik dzięki temu nie musi dodatkowo głową sięgać osobno leżącej myszy, jak to miało miejsce przy użyciu klawiatury standardowej. W porównaniu z używaną wcześniej klawiaturą standardową sięganie skrajnie położonych klawiszy na klawiaturze numerycznej wymaga o wiele mniejszego wysiłku, co dodatkowo wpływa na zmniejszenie napięcia mięśniowego całego ciała. Tak więc w sytuacji autora, który z racji ograniczonej mobilności ciała zmuszony jest do pracy z komputerem w pozycji leżącej, używanie zmodyfikowanej klawiatury numerycznej w sposób znaczny poprawia ergonomię stanowiska pracy

W odniesieniu do aspektu możliwości obsługi komputera w pozycji siedzącej test obsługi klawiatury standardowej umocowanej na stelażu zakończył się niepowodzeniem. W pozycji siedzącej z rękoma przypiętymi pasami do podłokietników wózka inwalidzkiego sięganie brodą czy nosem do skrajnie położonych klawiszy jest na granicy możliwości autora. Wysiłkowe wychylenia szyi na boki powodują znaczny ból, co wyklucza możliwość używania przez autora klawiatury standardowej w pozycji siedzącej.

W przypadku użycia zamontowanej na stelażu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej okazało się, że autor siedząc na wózku inwalidzkim może z powodzeniem korzystać z takiego sposobu obsługi komputera. Mechanizm regulacji stelaża pozwala na bardzo precyzyjne ustawienie zmodyfikowanej klawiatury tak, aby wszystkie jej klawisze oraz trackball znajdowały się dokładnie na wprost twarzy użytkownika w odległości zapewniającej wygodną manipulację klawiszami. Klawisze oraz trackball omawianej klawiatury mieszczą się na powierzchni odpowiadającej polu kwadratu o boku 11 cm. To jest płaszczyzna na której autor w pozycji siedzącej jest w stanie dosięgnąć brodą i nosem do każdego klawisza. Jest to szczególnie ważne, bo decyduje o możliwości obsługi komputera w pozycji siedzącej czyli w warunkach typowych dla zdrowych osób np. na uczelni czy w miejscu pracy.

Wniosek:

Zmodyfikowana klawiatura numeryczna może z powodzeniem zastąpić klawiaturę standardową i być używana przez autora będącego zarówno w pozycji leżącej jak też, przy odpowiednim zamocowaniu na stelażu, umożliwia obsługę urządzeń wejścia w sytuacji, kiedy autor siedzi na wózku inwalidzkim (Rys.20). W wyniku modyfikacji klawiatury numerycznej i jej dostosowania ściśle do potrzeb konkretnego użytkownika osiągnięto następujące efekty:

- 1) zmniejszenie dolegliwości bólowych
- 2) umożliwienie pracy w pozycji siedzącej
- 3) wprowadzanie danych w porównywalnym tempie.

Można stwierdzić, że stelaż wraz z umocowaną na nim zmodyfikowaną klawiaturą numeryczną stanowi funkcjonalny zestaw kompensujący ograniczenia manualne autora. Istotne wydaje się również to, że ten zestaw może być nie tylko narzędziem kompensacji ograniczeń fizycznych w bezpośrednim znaczeniu ale też potencjalnym środkiem do znalezienia i utrzymania zatrudnienia.

Zakończenie

Poszukiwanie niestandardowych metod wprowadzania danych budzi coraz większe zainteresowanie twórców nowych technologii w dziedzinie interakcji człowieka z komputerem. Obsługa urządzeń wejścia w ten sam monotony sposób, poprzez naciskanie klawiszy i przesuwanie kontrolera przestaje spełniać oczekiwania użytkowników. Wzrasta zapotrzebowanie na rozwiązania poprawiające funkcjonalności urządzeń sterujących, umożliwiające mobilność użytkowników, zwiększające szybkość przepływu informacji itp. Wśród nowoczesnych rozwiązań przeważają programy i urządzenia wykorzystujące do obsługi komputerów modalność sensoryczną człowieka. Pojawia się też coraz więcej koncepcji konstruowania interfejsów pozwalających na bezpośrednią interakcję człowieka z komputerem za pomocą sygnałów pochodzących z fal mózgowych.

Duża część nowoczesnego oprogramowania i wynalazków technologicznych powstaje z myślą o pomocy osobom, dla których komputer jest jedynym sposobem dostępu do informacji i porozumiewania się ze światem. Narzędzia i programy komputerowe otwierają niepełnosprawnym użytkownikom dostęp do celów i obszarów życia, które z racji niepełnosprawności byłyby dla nich całkowicie nieosiągalne. O dostępności sprzętu komputerowego dla osób z ograniczoną mobilnością w dużym stopniu decyduje precyzyjna diagnoza funkcjonalna, która pozwala określić stopień i zakres ograniczeń motorycznych oraz sposób możliwych kompensacji tych ograniczeń.

W niniejszej pracy przedstawiono narzędzia i programy pozwalające osobom z różnymi dysfunkcjami ruchowymi na obsługę urządzeń wejścia. Na przykładzie konkretnego użytkownika pokazano, jak ważne jest dostosowanie urządzeń i środowiska pracy do stopnia oraz postaci niepełnosprawności. Zaprezentowano szczegółowy opis zarówno ograniczeń motorycznych użytkownika jak też mechanizmów kompensacyjnych. Zwrócono jednocześnie uwagę na to, że w przypadku niesprawności połączonych (motorycznych i sensorycznych) rosną problemy z doborem i możliwością korzystania z potrzebnego sprzętu.

Opis projektu modyfikacji klawiatury numerycznej będący częścią pracy przedstawia zmianę funkcjonalności klawiatury w kierunku zaadaptowania jej do potrzeb osoby pozbawionej sprawności manualnej. Efektem modyfikacji jest zindywidualizowane narzędzie, które po umocowaniu na specjalnym stole pozwala na swobodne sterowanie urządzeniami wejścia bez użycia rąk.

Zdaniem autora pracy, pisanie przy użyciu zaadaptowanej klawiatury wymaga osiągnięcia wprawy w obsłudze kombinacji klawiszy, a osiągnięcie lepszych rezultatów w szybkości wprowadzania danych jest kwestią czasu i treningu. Wykonane testy funkcjonalności zmodyfikowanej klawiatury pokazały, że poprzez modyfikację uzyskano wyraźną poprawę komfortu pracy użytkownika.

Nie ulega wątpliwości, że rozwiązanie przedstawione w pracy pokazuje, czym jest dostęp osoby z niepełnosprawnością motoryczną do technicznych urządzeń pomocniczych, a także wskazuje na konieczność indywidualnego podejścia i uwzględnienia w tym zakresie ściśle określonych potrzeb.

W przypadku znacznej niepełnosprawności ruchowej człowiek jest realnie zagrożony negatywną klasyfikacją, zaliczeniem do kategorii osób nieprzydatnych. Tymczasem okazuje się, że przystosowanie odpowiedniego oprzyrządowania może radykalnie zmienić sytuację życiową danej osoby, podnosząc ją w sensie dosłownym i przenośnym. W sytuacji autora zmiana jest znacząca, bo zmodyfikowane urządzenie pozwala na wykonywanie pracy w pozycji siedzącej, a więc w takich samych warunkach, jak osoby pełnosprawne. Przyczynia się też do poprawy poczucia własnej wartości w ramach choćby niewielkiej samodzielności.

Wydaje się to bardzo ważne, w wymiarze osobistym, ale też w wymiarze społecznym, szczególnie w świetle standardów, do jakich dąży nowoczesna Europa. Dokumenty *Europejskiej Strategii w Sprawie Niepełnosprawności 2010-2020* wzywają państwa członkowskie Unii Europejskiej do „wykorzystania potencjału, jaki społeczeństwo informacyjne stanowi dla osób niepełnosprawnych oraz, w szczególności, do przyczynienia się do zniesienia barier natury technicznej i innej, aby umożliwić tym osobom efektywny udział w gospodarce oraz społeczeństwie opartych na wiedzy”²⁹. W cytowanym fragmencie jest stwierdzenie o „potencjale, jaki społeczeństwo informacyjne stanowi dla osób niepełnosprawnych”. Z powodzeniem można by to stwierdzenie odwrócić: osoby niepełnosprawne stanowią dla społeczeństwa potencjał, którego wartość da się ocenić dopiero po zniesieniu barier natury technicznej.

²⁹ http://www.era-comm.eu/UNCRPD/kiosk/documentation/413DV06/docu_pl.pdf

Wykaz rysunków

Rys. 1. Head Mouse Extreme	10
Rys. 2. EyeTech TM 4	12
Rys. 3. EyeTech TN4 podłączone do monitora	12
Rys. 4. Urządzenie PCEye u dołu monitora	12
Rys. 5. Klawiatura Maltron dla praworęcznych	14
Rys. 6. Praworęczna wersja układu Dvoraka	15
Rys. 7. Leworęczna wersja układu Dvoraka	15
Rys. 8. Maltron Expanded	16
Rys. 9. Przykład czujnika zamontowanego w pobliżu ust	17
Rys. 10. Centralka System Sensor	17
Rys. 11. System Sensor Mysz	18
Rys. 12. Czujnik mrugnięć systemu Blink-It	18
Rys. 13. Interfejs użytkownika b-Link z podświetloną literą b	21
Rys. 14. Menu myszy ekranowej	21
Rys. 15. Obsługa komputera w pozycji leżenia na brzuchu	27
Rys. 16. Obsługa klawiatury numerycznej z trackballem	27
Rys. 17. Schemat klawiatury w układzie bocznym	30
Rys. 18. Cztery modele usytuowania trackballa na obudowie klawiat	31
Rys. 19. Zmodyfikowana klawiatura numeryczna zamontowana na stelażu	39
Rys. 20. Autor obsługujący zmodyfikowaną klawiaturę zamontowaną na stelażu	40

Wykaz tabel

Tab. 1. Tabela zbioru Z	33
Tab. 2. Tabela przypisań TM	33
Tab. 3. Tabela przypisań TP	34
Tab. 4. Tabela wprowadzania tekstu ciągłego	38
Tab. 5. Tabela wprowadzania tekstu z wzorami matematycznymi	38
Tab. 6. Tabela wprowadzania tekstu złożonego z linii kodu programu	38

Literatura

- [1] Borowiec Bartosz, Bulczyński Bartosz, Dąbrowski Grzegorz, Klaus Rafał, Knieć Szymon, *Interfejs komunikacyjny dla osób chorych na ALS*, w *Technologie Informatyczne w Służbie Osób Niepełnosprawnych*, WOM, Gorzów Wlkp. 2007, s. 36.
- [2] Gorajewska Danuta, *Fakty i mity o osobach z niepełnosprawnością*, Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji, Warszawa 2006, s. 9.
- [3] Mikołajewska Emilia, Mikołajewski Dariusz, *Neurorehabilitacja XXI wieku Techniki Informatyczne*, Impuls, Kraków 2011, s. 20-71.