

doi:10.15199/48.2025.01.19

Inteligentne pryzmatowe okulary z funkcjami wspomagającymi użytkownika i integracją z platformami mobilnymi

Streszczenie. W artykule przedstawiono projekt i realizację inteligentnych pryzmatowych okularów. Proponowane rozwiązanie stanowi ciekawą propozycję nowatorskiego urządzenia, które ułatwia interakcję człowieka z komputerem. Po przedstawieniu podstaw teoretycznych zastosowanych rozwiązań, uwagę skoncentrowano na sprzętowych i programowych aspektach realizacji urządzenia. Uwagę zwrócono na szereg oryginalnych rozwiązań, które stanowią o wyjątkowej wartości opracowanego rozwiązania. Należy do nich między innymi integracja ze smartfonem, co sprawia, że okulary stają się elementem mobilnego systemu multimedialnego. Warto podkreślić, że użytkownikiem okularów może być osoba z niepełnosprawnościami, co stanowi dodatkową wartość opracowania. Zaprojektowany i wykonany prototyp urządzenia został doceniony na Ogólnopolskim Konkursie „Elektronika – by żyło się łatwiej”, gdzie w gronie wielu wybitnych projektów zajął I miejsce.

Abstract. The paper presents the design and implementation of smart prism glasses. The proposed solution is an interesting proposal for a novel device that facilitates human-computer interaction. After presenting the theoretical basis of the solutions used, attention was focused on the hardware and software aspects of the implementation of the device. Several original solutions were highlighted, which represent the unique value of the developed solution. These include integration with a smartphone, which makes the glasses an element of a mobile multimedia system. It is worth noting that the user of the glasses can be a person with disabilities, which is an additional value of the development. The designed and made prototype of the device was appreciated at the National Competition “Electronics - to live easier”, where it won first place among many outstanding projects. (**Smart prism glasses with user-assist functions and integration with mobile platforms**)

Słowa kluczowe: pryzmatowe inteligentne okulary, elektronika ubieralna, urządzenia mobilne, wspomaganie osób z niepełnosprawnościami
Keywords: prism smart glasses, wearable electronics, mobile devices, assisting people with disabilities

Wstęp

W ostatnim czasie pojawia się na rynku coraz więcej „inteligentnych” elektronicznych urządzeń. Często stanowią one elementy coraz popularniejszej elektroniki ubieralnej [4]. Przykładem tego typu urządzenia są przedstawione w artykule inteligentne okulary, będące propozycją nowatorskiego urządzenia, wykorzystującego najnowsze technologie do zastosowania w obszarach rozszerzonej rzeczywistości i nowoczesnych systemach wymagających interakcję człowieka z komputerem.

Rozwiązania konkurencyjne do proponowanych okularów są trudno dostępne na rynku. Zwykle wykazują duże podobieństwo do okularów znanych pod nazwą Gogle VR [5]. Czasami są wyposażone w dodatkowy zestaw kamer, które transmitują obraz na różnego typu wyświetlacze, na których nakładana jest dodatkowa grafika stanowiąca elementy interfejsu użytkownika.

Projektując inteligentne pryzmatyczne okulary, zwracano szczególną uwagę na komfort użytkownika oraz mobilność. Założono, że użytkownikiem okularów może być osoba z niepełnosprawnościami. Rozwiązania dostępne na rynku nie przewidują udogodnień dla takiej osoby, oferując jedynie wygodne funkcje obsługi urządzeń multimedialnych możliwe do wykorzystania przez osobę bez niepełnosprawności. Założono również, że okulary powinny być wyposażone w wiele funkcji wspomagających użytkownika, zapewniających komfort ich użytkowania i współpracę z popularnymi platformami mobilnymi. Komponenty oraz rozwiązania zastosowane w okularach powinny zapewnić wygodną mobilność oraz stanowić integralne rozwiązanie, nie wymagające żadnych dodatkowych elementów, w tym zewnętrznych źródeł zasilania. Stało się to możliwe dzięki wbudowaniu w okulary akumulatora, który jest ładowany za pomocą standardowej ładowarki ze złączem USB-C [6], stosowanej powszechnie do ładowania telefonów komórkowych.

Celem artykułu jest kompleksowe przedstawienie inteligentnych pryzmatycznych okularów, które mają wiele funkcji wspomagających użytkownika, również z osoby z niepełnosprawnościami, i umożliwiają łatwą integrację z platformami mobilnymi.

W kolejnych częściach artykułu przedstawiono podstawy teoretyczne zastosowanych rozwiązań, zastosowane sprzętowe rozwiązania, oprogramowanie oraz sposób konstrukcji zrealizowanych okularów.

Podstawy teoretyczne, zastosowane rozwiązania

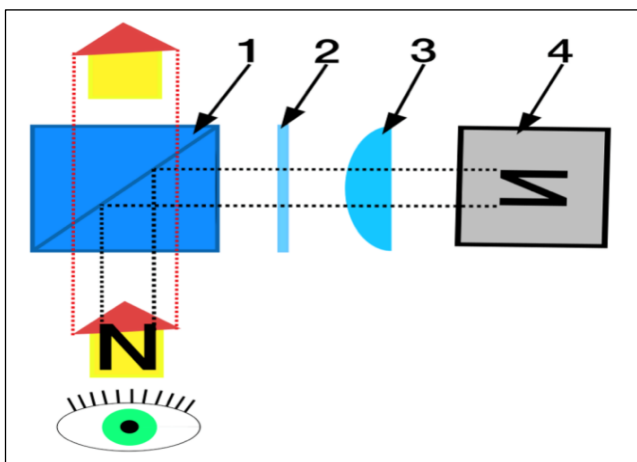
Konstruując okulary założono, że powinny one pełnić wiele przydatnych dla użytkownika funkcji. Należą do nich przede wszystkim funkcje informacyjne, wśród których niektóre są ukierunkowane na wspomaganie osób z niepełnosprawnościami: wzrokową i słuchową.

Podstawowym zadaniem okularów jest wyświetlanie informacji przed oczami użytkownika. Funkcją tą zrealizowano używając pryzmatyczny wyświetlacz. Równie ważną funkcją jest komunikacja dźwiękowa, która wykorzystuje przewodnictwo kostne. Interfejs użytkownika wyposażono w rozwiązania pozwalające na rozpoznawanie różnych gestów. Funkcje komunikacji wspierające osoby z niepełnosprawnościami umożliwiają generowanie odpowiednich sygnałów akustycznych oraz rozróżnianie barw, niezbędne podczas obserwacji sygnalizacji świetlnej. Dodatkowo okulary wyposażono w układ pomiaru odległości oraz czujnik stężenia szkodliwych substancji znajdujących się w powietrzu.

Najważniejszym elementem projektowanych okularów jest wyświetlacz pokazujący stosowną informację przed oczami użytkownika. Na Rys. 1 zobrazowano sposób tworzenia obrazu na kolorowym wyświetlaczu pryzmatycznym. Pojedynczy okular składa się z kolorowego mikrowyświetlacza OLED (Rys. 1, element 4), zestawu soczewek (Rys.1, elementy 2, 3) oraz pryzmatu (Rys.1, element 1). Wyświetlacz pokazuje kolorowy obraz, który przygotowuje mikrokontroler. Dane są przesyłane do sterownika wyświetlacza. W ekranach OLED każdy piksel jest samodzielnym źródłem światła, w przeciwieństwie do ekranów LCD, w których stosowane jest jednolite podświetlenie na całej powierzchni matrycy [7]. Rozwiązanie to umożliwi uniknięcie efektu poświaty, co ma kluczowe znaczenie przy wyświetlaniu obrazu na pryzmatycznym

wyświetlaczu, zapewniając wyraźny obraz o wysokim kontraście. Światło z wyświetlacza przechodzi przez soczewkę płasko-wypukłą (Rys. 1, element 3), która skupia wiązkę światła. Pozwala to na uzyskanie ostrego i wyraźnego obrazu, mimo bliskiego umiejscowienia ekranu względem oka. Soczewka Fresnela (Rys. 1, element 2) dodatkowo powiększa i wyostża obraz, który następnie jest częściowo odbijany pod kątem 90° na powłoce wewnętrznej pryzmatu, rozdzielającego wiązkę światła [3].

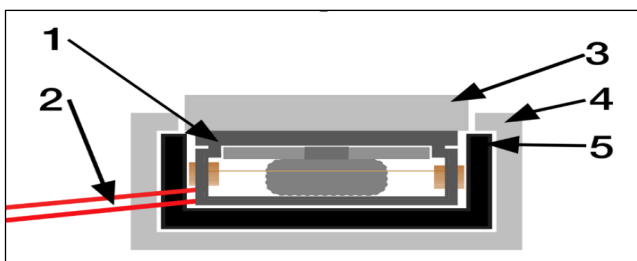
Konstruując wyświetlacz należy zwrócić szczególną uwagę na zapewnienie odpowiednich odległości pomiędzy ekranem, soczewkami i pryzmatem. Pozwala to na uzyskanie ostrego i wyraźnego obrazu o odpowiedniej wielkości. Zbyt duże powiększenie powoduje widoczność na ekranie subpikseli pojedynczego piksela, co negatywnie wpływa na jakość obrazu. Pryzmat jest półprzeźroczysty, co powoduje, że oprócz obrazu tworzonego na ekranie użytkownik widzi również przedmioty znajdujące się w realnym świecie, tak jak dzieje się to patrząc przez klasyczne okulary.



Rys. 1 Zasada działania wyświetlacza pryzmatycznego - rzut z góry
1 – pryzmat, 2 - soczewka Fresnela, 3 – soczewka płasko-wypukła; 4 - mikrowyświetlacz OLED

Drugą bardzo rozbudowaną częścią okularów jest moduł komunikacji dźwiękowej. Okulary wyposażone są w tzw. głośniki kostne [1], umieszczone na pasku mocującym, wykonanym z elastycznego materiału. Pozwala to na odpowiedni docisk głośnika do głowy, tak, aby vibracje mogły zostać przekazane do czaszki, zapewniając minimalne straty.

Zastosowane rozwiązanie zostało symbolicznie przedstawione na Rys. 2.



Rys. 2 Budowa głośnika kostnego zastosowanego w okularach - przekrój
1 – głośnik kostny; 2 – przewody połączeniowe; 3 – bloczek przekazujący drgania; 4 – plastikowa obudowa; 5 - gąbka

Sygnal elektryczny doprowadzony jest do głośnika kostnego (Rys. 2, element 1) za pomocą przewodów (Rys. 2, element 2). Gąbka (Rys. 2, element 5), znajdująca się w

komorze wewnętrznej głośnika, polepsza jakość dźwięku oraz izoluje głośnik kostny od plastikowej obudowy (Rys. 2, element 4). Bloczek (Rys. 2, element 3) stanowiący integralną część głośnika kostnego zapewnia zwiększenie powierzchni styku głośnik – czaszka. Jako, że vibracje trafiają bezpośrednio do ucha wewnętrznego, omijając ucho zewnętrzne i środkowe, to zastosowane rozwiązanie umożliwi słyszenie dźwięku osobom słabosłyszącym oraz części osób niesłyszących. Pozwala to między innymi na słuchanie muzyki, odbieranie komunikatów ze smartfonu, czy nawet wygodne prowadzenie rozmów telefonicznych. Użytkownik może bezpiecznie słuchać muzyki oraz prowadzić rozmowy przez telefon, jednocześnie mając świadomość otaczających go dźwięków. Słuchawki kostne przyczyniają się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa, szczególnie na ulicy, gdyż redukują ryzyko wypadku.

Nawigacja w opracowanym systemie jest realizowana za pomocą gestów wykonywanych ręką. Wbudowany w okulary optyczny czujnik stanowi kluczowy element funkcji rozpoznawania gestów. Okulary rozpoznają 9 rodzajów gestów. Zintegrowana z układem czujnika dioda emitująca podczerwień, pozwala na pracę w warunkach słabego oświetlenia, a nawet w ciemności.

Gdy czujnik zostanie wybudzony poprzez wykrycie ruchu, rozpoczyna procedurę dopasowania przechwyconego z matrycy czujnika ruchu do jednego z zaprogramowanych, możliwych do rozpoznania gestów. Mikroprocesor uzyskując informację o wykonanym geście uruchamia procedurę przyporządkowaną odpowiedniej operacji będącej elementem interfejsu użytkownika.

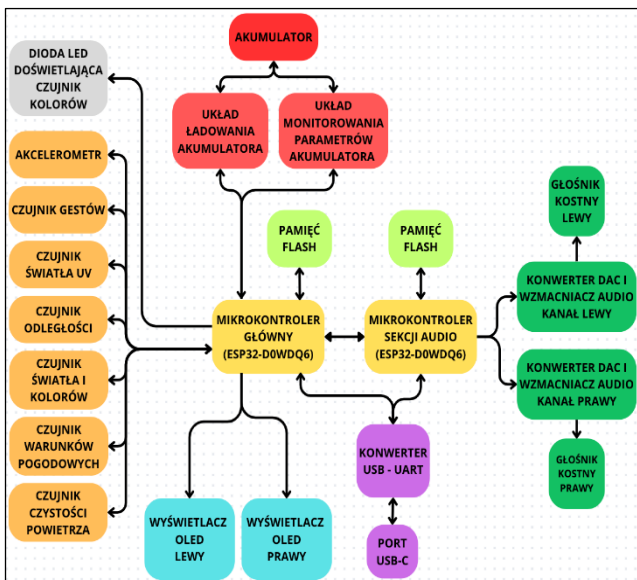
Dodatkowe funkcje wspierające osoby z niepełnosprawnościami uzyskuje się w wyniku współpracy systemu sterowania z czujnikiem kolorów oraz laserowym czujnikiem odległości. Czujnik kolorów zawiera matrycę fotodiod, zdolnych do pomiaru natężenia barw: czerwonej, zielonej oraz niebieskiej, a także poziomu natężenia światła otoczenia. Podczas pomiaru, uruchomiona zostaje zewnętrzna dioda LED białego światła, aby zapewnić odpowiednie warunki oświetlenia. Mikrokontroler ma możliwość odczytu natężenia barw z czujnika pomiarowego. Natężenie poszczególnych kolorów jest odwzorowane w formie wartości liczbowej z zakresu 0-255. Algorytm sterowania na podstawie natężenia każdej z barw, ma możliwość wypracowania odpowiednich informacji przekazywanych użytkownikowi.

Laserowy czujnik odległości, oparty na technologii ToF (Time-of-Flight), zapewnia precyzyjny pomiar odległości, niezależnie od współczynnika odbicia światła od powierzchni badanego obiektu. Światło lasera jest niewidoczne dla ludzkiego oka, gdyż jest w zakresie długości fali 940 nm. Wyznaczona wartość liczbowa, wyrażona w jednostkach metrycznych (milimetry) może być odczytana przez mikrokontroler. Gdy odczytana wartość odległości jest mniejsza od ustalonej wartości granicznej, na ekranie pojawi się ostrzeżenie o bliskiej odległości od przeszkody.

Uzupełnieniem funkcji dostępnych w zrealizowanych okularach jest funkcja wykrywania w powietrzu niebezpiecznego stężenia szkodliwych substancji. Elementem pomiarowym jest czujnik jakości powietrza. Umożliwia on określenie poziomu organicznych związków lotnych i dwutlenku węgla w powietrzu, a także wartości indeksu AQI (Air Quality Index) jakości powietrza. Wskaźnik poziomu zanieczyszczenia powietrza określany jest w skali od 0 do 500. Oprogramowanie okularów umożliwia cykliczny pomiar powyższych wartości i porównanie ich z określonymi bezpiecznymi progami. Jeżeli co najmniej jeden z otrzymanych wyników przekracza wartość graniczną, na wyświetlaczu pojawia się komunikat o niebezpiecznym stężeniu substancji szkodliwych w powietrzu.

Część sprzętowa opracowanych okularów

Schemat blokowy okularów przedstawiono na Rys. 3. Jednostkę sterującą stanowią dwa dwurdzeniowe mikrokontrolery, synchronizowane zegarem o częstotliwości 240MHz, ze zintegrowaną obsługą łączności Wifi oraz interfejsem Bluetooth. Zastosowanie dwóch osobnych mikroprocesorów pozwala na równoległe złożonych obliczeniowo operacji. Przykładowo możliwe jest równoczesne oczekiwanie na odbiór powiadomień ze smartfonu i słuchanie muzyki odtwarzanej przez smartfon lub inne urządzenie. Pamięć typu flash przechowuje program oraz dane użytkownika. Głośniki kostne są sterowane przez sygnał elektryczny uzyskany z przetwornika cyfrowo-analogowego z wbudowanym wzmacniaczem. Układ przetwornika otrzymuje cyfrowy sygnał audio emitowany przez mikrokontroler sekcji audio, który odbiera przesyłany dźwięk za pośrednictwem interfejsu Bluetooth. Mikrokontroler główny odpowiedzialny jest za działanie systemu operacyjnego oraz zarządza urządzeniami peryferyjnymi. Wyświetlacze sterowane są za pomocą poleceń wydawanych przez mikrokontroler, które określają kolor, parametry wyświetlanych elementów oraz dane, takie jak np. bitmapy i czcionki. Mikrokontroler główny odpowiada również za zarządzanie układem ładowarki akumulatora oraz monitorowanie parametrów akumulatora. Obsługuje również wszystkie czujniki oraz odczytuje z nich wartości pomiarów, wykonywane na potrzeby poszczególnych funkcji systemu.



Rys. 3 Schemat blokowy okularów

Oprogramowanie okularów

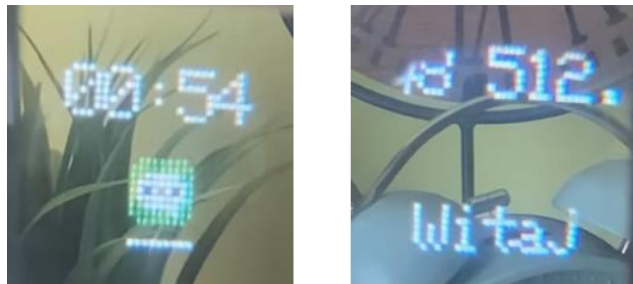
Okulary pracują pod kontrolą autorskiego systemu operacyjnego, który zarządza sekcją zasilania, czujnikami, wyświetlaczami, a także mikrokontrolerem sekcji audio. Mikrokontroler odbiera bezprzewodowo sygnał audio wykorzystując interfejs Bluetooth, po czym przesyła go sterując przetwornikami głośników.

Urządzenie umożliwia integrację z systemem w smartfonach iPhone, co pozwala między innymi na sterowanie odtwarzaniem utworów muzycznych, synchronizację czasu, odczyt aktualnie odtwarzanych utworów, odczyt powiadomień, a także synchronizację notatek i wydarzeń zawartych w kalendarzu.

Okulary wyposażono w wiele przydatnych funkcji, między innymi odczyt warunków pogodowych z czujników, odczyt powiadomień ze smartfonu, śledzenie aktywności fizycznej użytkownika, sterowanie odtwarzaczem muzyki, pomiar

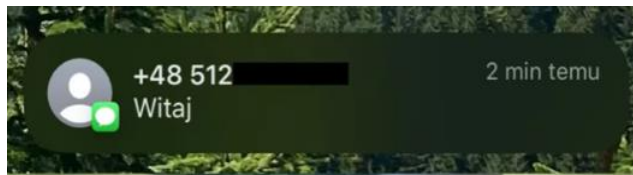
odległości od przeszkód, czujnik kolorów, a także synchronizację danych (notatek, kalendarza) znajdujących się w smartfonie.

Na Rys. 4 przedstawiono wygląd aplikacji do odbioru powiadomień ze smartfonu, wyświetlanych na ekranach okularów.



Rys. 4 Wygląd aplikacji do odbioru powiadomień na okularach Lewy obraz – lewy wyświetlacz (Ikona aplikacji i godzina), prawy obraz – prawy wyświetlacz (numer telefonu oraz treść powiadomienia)

Na Rys. 5 przedstawiono treść przesłanego do okularów powiadomienia.

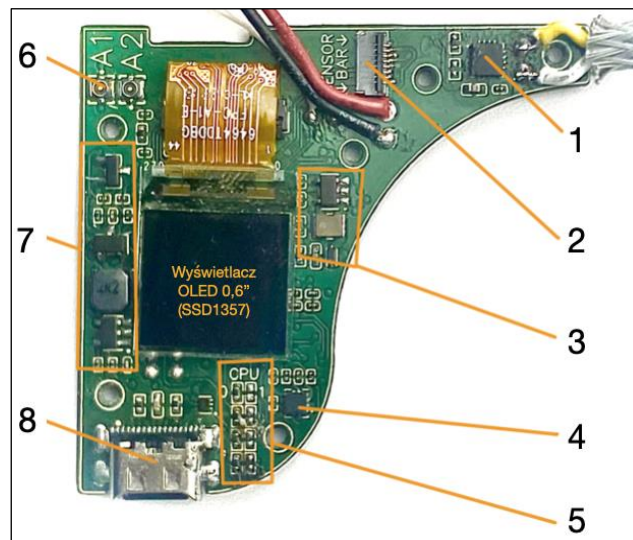


Rys. 5 Treść przesłanego do okularów powiadomienia

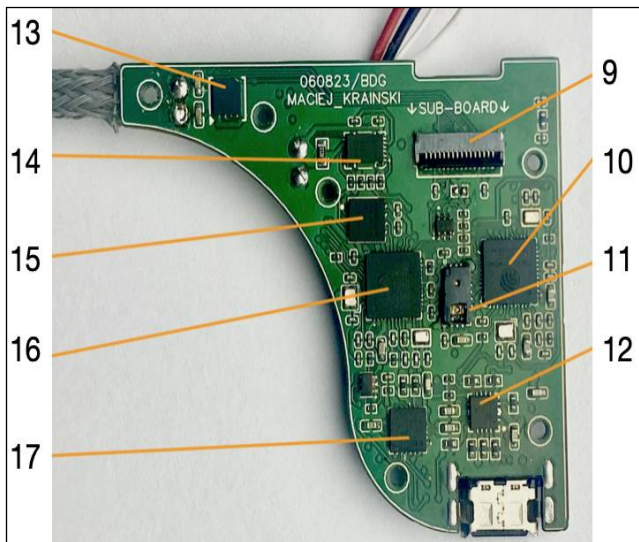
Konstrukcja urządzenia

Urządzenie składa się z trzech płyt PCB, których kształt jest ściśle dopasowany do obudowy okularów.

Na Rys. 6 i 7 przedstawiono widoki płyty głównej okularów z przodu i tyłu, na których wskazano najważniejsze elementy wraz z opisem funkcji.



Rys. 6 Płyta główna okularów - strona przednia
1 przetwornik DAC ze wzmacniaczem audio, 2 złącze płyty z czujnikami, 3 przetwornica 12V dla wyświetlacza, 4 akcelerometr, 5 zworki wyboru programowanego procesora, 6 złącza anten, 7 przetwornica 3.3V z przełączaniem zasilania, 8 złącze USB typu C, (pamięć typu Flash mikrokontrolera sekcji audio oraz regulator napięcia dla drugiego układu audio, znajduje się pod ekranem)



Rys. 7 Płyta główna okularów - strona tylna
9 złącze płyty modułów peryferyjnych, 10 mikrokontroler główny, 11 czujnik gestów, 12 układ ładowania, 13 regulator napięcia 3.3V dla układu audio, 14 układ monitorowania stanu akumulatora, 15 pamięć typu FLASH, 16 mikrokontroler sekcji audio, 17 konwerter UART-USB

Obwody drukowane połączone między sobą za pomocą elastycznych taśm. Płyta główna jest sześciowarstwowa, a płyty modułów peryferyjnych i elementów sensorycznych zaprojektowano w postaci obwodów dwuwarstwowych. Na płycie sensorycznej zostały umieszczone wszystkie zastosowane w okularach czujniki. Płyta modułów peryferyjnych zawiera lewy wyświetlacz oraz układ audio lewego głośnika kostnego. Pozostałe elementy są umieszczone na płycie głównej. Montaż mikroskopijnych komponentów wymagał zastosowania techniki lutowania rozpliwowego na płycie grzewczej oraz techniki lutowania z użyciem gorącego powietrza. Elementy zostały naniesione na płyty PCB ręcznie. Stało się to możliwe dzięki wykorzystaniu cyfrowego mikroskopu.

Na Rys. 8 przedstawiono prototyp prezentowanych okularów.



Rys. 8 Okulary pryzmatowe

Obudowa urządzenia, została wykonana przy użyciu technologii druku 3D. Na podstawie projektu obudowy, został określony kształt płyt PCB. Przedni panel wykonano z przezroczystej płyty akrylowej, przyciętej przy użyciu techniki cięcia laserowego. Panel przedni służy ochronie przed uszkodzeniami mechanicznymi wyświetlaczy pryzmatowych oraz czujników. W łączniku pomiędzy dwiema częściami okularów umieszczono akumulator, termistor monitorujący temperaturę akumulatora, płytkę z sensorami oraz przewody i taśmy elastyczne. Poduszka przylegająca do czoła o strukturze składającej się z sześciokątów, wykonana z termoplastycznego poliuretanu, zwiększa komfort noszenia

okularów poprzez dopasowanie ich do kształtu głowy użytkownika. Na pasku z elastycznego materiału umieszczone zostały głośniki kostne.

Zaproponowana konstrukcja okularów, praktycznie zweryfikowana w procesie licznych testów, zapewnia wygodne ich użytkowanie, gwarantując zabezpieczenie mechaniczne elementów pomiarowo-informacyjnych i ściśle przyleganie głośników kostnych do głowy.

Podsumowanie

Zaprezentowane w artykule inteligentne pryzmatowe okulary zostały zrealizowane w postaci prototypowego rozwiązania. Wyniki licznych testów pokazały, że urządzenie spełnia poprawnie wszystkie założone funkcje. Nie ulega wątpliwości, że prezentowane okulary stanowią ciekawy element wyposażenia mobilnych systemów multimedialnych, oferujący wiele unikalnych i przydatnych w codziennym użytkowaniu funkcjonalności.

Przedstawiony w artykule projekt brał udział w Ogólnopolskim Konkursie „Elektronika – by żyło się łatwiej” na najlepszy projekt z obszaru elektroniki, automatyki i informatyki, organizowany przez Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, przy współpracy z firmami Siemens i Kamami. Wśród wybitnych projektów zajął zaszczytne I miejsce [2].

Zrealizowany prototyp stanowi pierwszą wersję koncepcji inteligentnych okularów, która będzie w dalszym ciągu rozwijana. Obecnie trwają prace, których celem jest stworzenie następnej wersji okularów, wyposażonej między innymi w system dopasowania umiejscowienia wyświetlaczy do rozstawu oczu użytkownika, mikrowyświetlacze o wyższej rozdzielczości, a także wbudowany mikrokomputer, stwarzający większe możliwości obliczeniowe.

Praca częściowo finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Autorzy: Maciej Krainki, e-mail: m.krainski.bydgoszcz@gmail.com; prof. dr hab. inż. Dariusz Kania, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, e-mail: dkania@polsl.pl

LITERATURA

- [1] Ellsperman S., Nairn E., Stucken E., Review of Bone Conduction Hearing Devices, *Audiology research*, 18; 11(2), (2021), 207-219, doi: 10.3390/audiolres11020019
- [2] Fiołka J., Wróbel E., Kania D., Elektronika – by żyło się łatwiej, edycja 2024, Ogólnopolski konkurs dla uczniów szkół ponadpodstawowych na najciekawszy projekt z dziedziny elektroniki, automatyki i informatyki, Śląskie Wiadomości Elektryczne, 3, (2024), 35-37
- [3] Grotowski M., Optyka, Prace matematyczno-fizyczne Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1954, 54-94
<https://kpbk.umk.pl/dlibra/doccontent?id=256950>
- [4] Kapitonov A., Dobriborsci D., Pantiukhin I., Chernov V., Sell R., Puks R., Kingsepp M., Nikitenko A., Berkolds K., Vagale A., Rumba R., Czekalski P., Tokarz k., Antemijczuk o., Paduch J., Sell R., Distefano S., Dautov R., Di Pietro R., Longo Minnolo A., Introduction to the IoT, Riga, IOT-OPEN.EU, (2019), 366 s., ISBN 978-9934-22-295-5.
<https://delibra.bg.polsl.pl/dlibra/publication/74054/>
- [5] Pelka Ł., Podstawka Ł., Szymczyk T., Analiza porównawcza gogli do VR; *Journal of Computer Sciences Institute, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej*, (2019), 36-45
- [6] Rogers A., Introduction to USB Type-C™, Microchip Technology Inc. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00001953a.pdf>, dostęp: 18.07.2024r.
- [7] Zieliński J., Olifierczuk M., Szwajca M., Organiczne diody elektroluminescencyjne – nowa generacja ekranów wideo, *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis. Studia Technica* 6, (2013), 183-196