

AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ INFORMATYKI ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA TELEKOMUNIKACJI

Praca inżynierska

*Opracowanie projektu inteligentnej laski dla osób niewidomych.
Development of smart white cane*

Autor:

Paweł Kazimierowicz

Kierunek studiów:

Teleinformatyka

Opiekun pracy:

dr. inż. Jarosław Bułat

Kraków, 2017

Uprzedzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystycznego wykonania albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprzedzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.): „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej «sądem koleżeńskim».”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Spis treści

Wstęp	7
1. Analiza wymagań technicznych	9
1.1. Czujnik odległości	10
1.2. Mikrokontrolery.....	11
1.3. Sygnalizacja haptyczna	11
1.4. Zasilanie	12
2. Wykonanie prototypu inteligentnej laski	13
2.1. Wybór komponentów	13
2.2. Analiza funkcjonowania prototypu.....	16
2.3. Oprogramowanie urządzenia	17
2.4. Projekt.....	24
3. Testy wersji produkcyjnej	27
3.1. Ergonomia urządzenia	28
3.2. Testy wewnątrz pomieszczeń	28
3.3. Testy na zewnątrz pomieszczeń.....	29
3.4. Wykorzystanie możliwości skracania zasięgu.....	29
4. Dokumentacja techniczna	31
Wnioski	35
Bibliografia	37

Wstęp

Powszechnym wsparciem codziennej nawigacji osób niewidomych są tzw. białe laski. Z ich pomocą są w stanie wykryć przeszkody znajdujące się w odległości około metra od użytkownika czy też śledzić krawędzie chodnika. Niewidomy jednak za pomocą takiej laski nie ma możliwości ustrzec się przed przeszkodami znajdującymi się na wysokości klatki piersiowej czy też głowy. Konieczne są dodatkowe środki ostrzegania przed przeszkodami, które znajdują się poza zasięgiem laski. Na rynku istnieją rozwiązania w postaci okularów sygnalizujących przeszkody wibracjami [1] czy też ręczne sonary odległości [2]. Większość z nich opiera się o laserowy lub ultradźwiękowy pomiar odległości oraz sygnalizację haptyczną w postaci wibracji. Istnieją również laski ze zintegrowanymi czujnikami, jednak nie dają one możliwości użytkownika własnej laski, do której użytkownik jest już przyzwyczajony. Są też zdecydowanie droższe od rozwiązania zaproponowanego w pracy - koszty takich rozwiązań na rynku to od około 700 PLN¹ nawet do 1400 PLN². Koszt produkcji prototypu przedstawionego w pracy rozwiązania to około 30 PLN (wykluczając obudowę), przy produkcji serii tysiąca sztuk.

W pracy zostanie przedstawiony proces projektowy oraz konstrukcyjny aktywnego systemu ostrzegania przed przeszkodami umieszczonego na standardowej lasce dla niewidomych, wykorzystując w tym celu sensor odległości, mikrokontroler realizujący pomiar oraz moduł sygnalizacji haptycznej.

Zdecydowano, że zaprojektowane rozwiązanie będzie zupełnie niezależne od laski by umożliwić użytkownikowi możliwie wygodne przyzwyczajenie się do nowego systemu. Zainstalowany zostać może on również na lasce o konstrukcji umożliwiającej składania, co może również poszerzyć możliwości zastosowania rozwiązania.

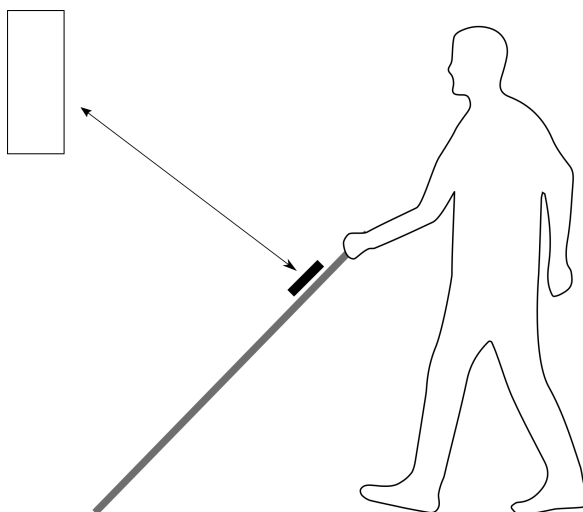
W rozdziale pierwszym przedstawione zostaną komponenty konieczne do zrealizowania projektu. W kolejnym opisany zostanie proces pracy nad prototypem urządzenia, a w rozdziale trzecim opis wykonanych testów rozwiązania. Celem pracy było również przygotowanie kompletnej dokumentacji technicznej umożliwiającej powielenie urządzenia oraz przygotowanie do masowej produkcji, zamieszczona została ona w rozdziale czwartym.

¹<http://sklep.altix.pl/pl/iglasses>

²<http://sklep.altix.pl/pl/ray-poreczna-pomoc-w-poruszaniu-sie>

1. Analiza wymagań technicznych

Wykonane rozwiązanie jest małym urządzeniem zamontowanym na standardowej lasce dla osób niewidomych, które wykonuje ciągłe pomiary odległości na wprost od użytkownika i w razie wykrycia przeszkody ostrzega wibracjami.



Rys. 1.1. Zasada funkcjonowania rozwiązania

Dodatkowo przewidziano możliwość skracania odległości pomiaru by poszerzyć spektrum zastosowań - na przykład jako sygnalizator ułatwiający poruszanie się w kolejkach czy też by ułatwić wyszukiwanie wolnego miejsca w komunikacji miejskiej. W taki sposób wykorzystywane są między innymi ręczne skanery odległości [2].

Założono, że projektowane rozwiązanie nie powinno wymagać od użytkownika częstego ładowania, dlatego też położono wysoki nacisk na optymalizację poboru prądu – tak by możliwie wydłużyć czas pracy laski jednocześnie zachowując możliwie niską wagę. Dla wygody użytkownika założono możliwość automatycznego usypiania urządzenia po jego odłożeniu i zaprzestaniu użytkowania, wykrywając ten fakt za pomocą akcelerometru.

W tym rozdziale zaprezentowane zostaną elementy konieczne do zrealizowania założeń projektowych. Będą to sensory do pomiaru odległości, mikrokontroler zarządzający pracą urządzenia oraz układ zasilania. Dodatkowo omówione zostaną aspekty zarządzania zasilaniem konieczne do optymalizacji urządzenia pod kątem wydłużenia pracy na akumulatorze.

1.1. Czujnik odległości

Podstawowym elementem koniecznym do zrealizowania założeń projektu był odpowiedni sensor odległości pozwalający na jej pomiar do minimum 150 cm. Za jego pomocą wykrywane będą przeszkody. Rozważono następujące rozwiązania:

- sensory ultradźwiękowe,
- sensory laserowe,

Pomiar odległości metodami TOF (ang. *Time of Flight*)

Powszechnie wykorzystywanymi metodami pomiaru odległości są metody TOF (ang. *Time of Flight*) opierające się o pomiar różnicy czasu pomiędzy wysłaniem sygnału, a odebraniem jego odbicia. Sygnał ten może być zarówno akustyczny jak i optyczny. Następnie czas ten przeliczany jest na odległość według zależności:

$$\text{Praktyczna Odległość } (D) = \frac{C_{\text{air}} \cdot T}{2} \quad (1.1)$$

Warto zwrócić uwagę, że w przypadku zastosowania ultradźwięków na pomiar wpływ ma temperatura otoczenia oraz jego wilgotność. W przypadku tego urządzenia nie założono potrzeby kompensacji tych niedokładności, gdyż nie jest wymagana wysoka dokładność.

Ultradźwiękowe sensory odległości

Najpowszechniej stosowanym rodzajem sensorów odległości są sensory ultradźwiękowe. Opierają się one o dwa przetworniki ultradźwiękowe, z których jeden pełni rolę nadajnika a drugi odbiornika [3]. Po wyzwoleniu pomiaru wysyłana jest seria impulsów, a następnie mierzony czas po którym do odbiornika dotrze echo.

Emitowana wiązka jest szeroka (w przypadku wykorzystanego modułu 15 stopni), dzięki czemu nie jest konieczne dokładne celowanie w poszukiwaniu przeszkody.

Laserowe sensory odległości

Laserowe sensory odległości działają na podobnej zasadzie do sensorów ultradźwiękowych, jednak jako medium wykorzystują impulsy wiązki laserowej, najczęściej w podczerwieni. Sensory laserowe emitują wąską wiązkę co pozwala na precyzyjny i dokładny pomiar. Niestety w omawianym zastosowaniu powoduje to większe prawdopodobieństwo przeoczenia przeszkody.

1.2. Mikrokontrolery

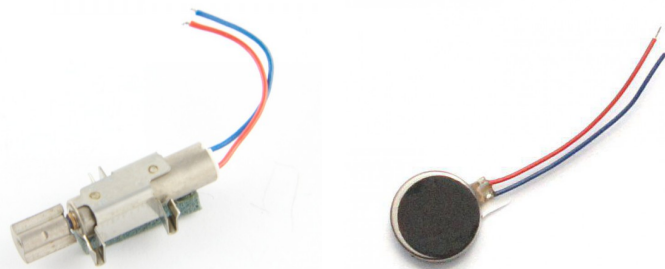
Sercem projektu jest ośmiobitowy mikrokontroler z rodziny AVR ATmega. Ta linia mikroprocesorów jest bardzo szeroka, od układów miniaturowych z ograniczoną liczbą GPIO (ang. *General Purpose Input/Output*), po układy z dziesiątkami GPIO oraz szeregiem dostępnych peryferiów. Do realizacji projektu konieczny jest mikrokontroler zapewniający:

- min. 6 GPIO – do regulowania zasięgu, dla czujnika odległości oraz wyjść sygnalizacyjnych,
- magistralę I2C lub SPI (do komunikacji z akcelerometrem),
- możliwość efektywnego zarządzania zasilaniem.

Taktowanie procesora jest w tym przypadku sprawą drugorzędną. Najbardziej popularne mikrokontrolery z tej rodziny (jak np. ATmega328 wykorzystywana w projekcie) mogą być taktowane z częstotliwościami od 1 do 20MHz, przy czym częstotliwości do 8MHz mogą być generowane przez wewnętrzny oscylator RC[4].

1.3. Sygnalizacja haptyczna

Dostępne są mechanizmy wibracyjne w różnych wymiarach i różnej konstrukcji, jednak w większości opierają się one o niecentrycznie rozłożoną masę na miniaturowym silniku. Najczęściej spotykanymi formami silników wibracyjnych są dwa rodzaje pokazane na Rys.1.2



(a) Silnik wibracyjny MT-48

(b) Silnik wibracyjny MT-24

Rys. 1.2. Dwa rodzaje miniaturowych silników wibracyjnych

Sygnalizację haptyczną za pomocą wibracji zrealizować można na wiele sposobów. Można ją urozmaicić, stosując zróżnicowaną siłę wibracji, różnego rodzaju rytm, bądź długość impulsów. W przypadku urządzenia dla osób niewidomych istotna jest intuicyjność, prostota i krótki czas reakcji.

Sygnalizację haptyczną można zrealizować również za pomocą sygnalizatorów cewkowych, wysuwających się pod wpływem napięcia i wyczuwalnych za pomocą dotyku. Rozwiązanie tego rodzaju może być jednak trudne do wykrycia przez rękawiczki oraz wymagać dokładnego ułożenia dłoni.

1.4. Zasilanie

Urządzenie tego rodzaju – by pełniło wydajnie swoją rolę musi funkcjonować bez ładowania akumulatora minimum jeden dzień. Za funkcjonalne minimum przyjęto 16 ciągłej godzin pracy. Jednocześnie istotne jest zachowanie niskiej wagi urządzenia, by nie wpływała ona znacząco na komfort użytkownika samej laski. W celu eliminacji konieczności wymiany baterii, zastosowany został akumulator.

Większość mikrokontrolerów oraz układów elektronicznych można zasilac napięciem 3.3 V, na które zdecydowano się w tym projekcie.

Akumulatory które dostarczają odpowiednie napięcie bez stabilizacji są ogniwa LiFePo_4 ¹. Dostępne są one jednak jedynie w formie cylindrycznej i o bardzo dużej pojemności (rzędu wielkości 10 Ah), ich zastosowanie nie jest więc adekwatne do potrzeb projektu.

Napięcie pracy akumulatorów Li-Ion oraz Li-Poly to 2.7 V do 4.2 V, konieczne jest więc stabilizowanie napięcia. Do tego celu wykorzystać można LDO (ang. *Low Dropout Regulator*) – liniowy regulator napięcia dla prądu stałego, który stabilnie pracuje przy możliwie niskim napięciu wejściowym. Dla miniaturowych regulatorów przeznaczonych do pracy z niskimi prądami są to wartości rzędu 100-200 mV. Dzięki czemu możliwe jest uzyskanie stabilnego zasilania 3.3 V przy napięciu wejściowym od 3.5 V.

Ogniwa Li-Ion / Li-Poly wymagają określonego cyklu ładowania, by nie tracić pojemności – jest to proces dwufazowy, w którym najpierw wymagane jest stałe napięcie, a następnie stały prąd ładowania. Do tego celu można wykorzystać gotową ładowarkę opartą o układ TP4056, która reguluje cały proces. Konieczne jest jedynie dobranie prądu ładowania do wykorzystanego akumulatora za pomocą jednego rezystora do konfiguracji. Zasilanie dla ładowarki może dostarczyć dowolne urządzenie z gniazdem USB: komputer czy też popularne ładowarki do telefonu.

¹akumulator litowo-żelazowo-fosforanowy, zwykle o dużych pojemnościach i potrafiące dostarczyć duże prądy

2. Wykonanie prototypu inteligentnej laski

W tym rozdziale opisany zostanie proces projektowy wykonania prototypu urządzenia. Kompletną dokumentację techniczną pozwalającą na powielenie rozwiązania zamieszczono jest w rozdziale czwartym.

2.1. Wybór komponentów

Dobór czujnika odległości

Wybrany został czujnik ultradźwiękowy. Jego funkcjonowanie jest odporne na czynniki atmosferyczne (niskie temperatury, opady), jest tani oraz łatwo dostępny. W projekcie zastosowany został popularny moduł o symbolu HC-SR04. Jest on parą przetworników ultradźwiękowych wraz z elementami pasywnymi oraz układem sterującym, na stosunkowo małym PCB o wymiarach (45 x 20 mm) [5].

Przetestowany został również sensor laserowy VL530X, który jest miniaturowy (4.4 x 2.4 x 1 mm), a jego aplikacja wymaga jedynie kilku elementów pasywnych [6].

Podczas testów w pomieszczeniu z przeważającym oświetleniem sztucznym, pomiary wykonane czujnikiem laserowym były zbliżone do wyników czujnika ultradźwiękowego. Został on jednak odrzucony ze względu na brak powtarzalności pomiarów podczas testów już przy umiarkowanym oświetleniu słonecznym. Sensor działa w paśmie 940nm [6], które jest zagłuszane przez promieniowanie słoneczne.

Istotnym argumentem za dokonanym wyborem była również szerokość wiązki – zdecydowanie większa dla czujnika ultradźwiękowego w porównaniu do sensorów laserowych. W związku z tym jest on skuteczniejszy w wykrywaniu przeszkód mniejszych rozmiarów.

Wybór mikrokontrolera

W projekcie został wykorzystany mikrokontroler AVR ATmega328. Jest to układ posiadający wszelkie konieczne peryferia, a jednocześnie łatwo dostępny i ma zbliżoną lub niższą cenę od mikrokontrolerów mniejszych, jednocześnie dając większe możliwości rozwoju urządzenia w przyszłości bez zmiany platformy.

Wykorzystana została jego wersja o symbolu atmega328p-au, w obudowie TQFP-32 (do montażu powierzchniowego), w wersji pozwalającej na głębokie oszczędzanie energii.

Akcelerometr do wykrywania beczynności

Jak wspomniano, wykorzystany mikrokontroler pozwala na usypianie oraz budzenie go przerwaniem (zbozcem narastającym lub opadającym na jednym z wejść, na którym dostępne są przerwania). W celu wykrywania czy urządzenie jest w użyciu czy zostało odłożone zastosowany został akcelerometr ADXL345, który pozwala na przełączenie w tryb oszczędzania energii i najniższej częstotliwości pomiarów – co pozwala na ograniczenie poboru energii do 34uA (str. 14 [7]). Akcelerometr został skonfigurowany w taki sposób by w przypadku przejścia do lub wyjścia ze stanu beczynności sygnalizował to zdarzenie stanem wysokim na porcie INT0. Podłączony on został do mikrokontrolera do pinu drugiego, który został skonfigurowany by interpretować taki sygnał jako przerwanie. Podczas obsługi przerwania odczytywany jest z akcelerometru rejestr opisujący przyczynę zdarzenia i w przypadku beczynności urządzenie jest usypiane, pomiary przestają być wykonywane.

Układ zasilania i dobór akumulatora

Zarówno akcelerometr jak i mikrokontroler mogą stabilnie funkcjonować przy napięciu zasilającym 3.3 V. Pomiarowo odnalezionym progiem funkcjonowania dla sensora odległości oraz silnika wibracyjnego jest napięcie 3.5 V, jednak mogą one przyjąć wartości do 5 V.

Rozważono zasilenie z akumulatora litowo-żelazowo-fosforanowego (dalej: LiFePo4), którego napięcie pracy mieści się w zakresie od 3.5 V do 3.0 V, dzięki uniknięto by stosowania regulatora dla akcelerometru oraz mikrokontrolera i zasilanie bezpośrednio z akumulatora. Tak niskie napięcie zasilania mogłoby jednak spowodować problemy w obsłudze czujnika odległości i silnika wibracyjnego.

Zdecydowano się więc na skorzystanie z miniaturowych ogniw litowo polimerowych (dalej: LiPoL). Akumulatory te posiadają nominalne napięcie pracy 3.7 V, w pełni naładowane ogniwo utrzymuje napięcie 4.2 V, a w 80% swojego zakresu pracy utrzymują one napięcie 4.2 V – 3.5 V. Akumulatory te posiadają również zintegrowany układ zabezpieczający przed nadmiernym rozładowaniem, przeładowaniem czy zwarcie – minimalizując ryzyko eksplozji.

Napięcie zasilania:	3.5 V	3.7 V	4.2 V
Wykonywanie pomiaru:	20 mA	20 mA	20 mA
Wibracja:	70 mA	50 mA	50 mA

Tabela 2.1. Pobór prądu podczas pracy urządzenia w zależności od napięcia zasilania

Podczas pracy nad prototypem wykonano pomiary poboru prądu przy różnych napięciach zasilania, typowych dla napięć pracy akumulatorów (Tabela 2.1). Zdecydowano się na zastosowanie miniaturowego akumulatora litowo polimerowego o pojemności 450 mAh.

W celu zmaksymalizowania oszczędności energii konieczne jest usypianie urządzenia, gdy jest ono nieużywane. Zrealizowano to, dodając do systemu pomiarowego czujnik położenia (akcelerometr),

za pomocą którego wykrywana jest aktywność lub jej brak (gdy urządzenie jest odłożone). W stanie uśpienia pobór prądu przez komponenty spada do wartości marginalnej (poniżej 1mA).

Dla zapewnienia stabilności pracy urządzenia, oraz by dostarczyć napięcie odpowiednie dla wszystkich komponentów (patrz Tabela 2.2), a w szczególności akcelerometru pracującego w logice 3.3 V zdecydowano się na zastosowanie liniowego regulatora napięcia o niskim napięciu dropout¹. Wykorzystany został regulator MCP1700, dla którego ta różnica napięć zapewniająca stabilną pracę wynosi typowo ok 180 mV[8]podczas dostarczania pełnej dostępnej moc. Dla prądów małych które występują w tym projekcie wartość ta powinna być nawet niższa.

Komponent	Vmin	Vmax
ATmega328p-AU	2.7 V	5 V
HC-SR04	3.5 V	5 V
ADXL345	2.0V	3.6 V

Tabela 2.2. Dopuszczalne napięcia pracy komponentów

Sygnalizacja haptyczna

Do sygnalizacji haptycznej zastosowano miniaturowy silnik wibracyjny o symbolu MT24 (patrz Rys. 2.1) dostępnego u jednego z lokalnych dostawców. Silnik jest w kształcie dysku o średnicy 10 mm i wysokości 3.6 mm.



Rys. 2.1. Wykorzystany silnik wibracyjny

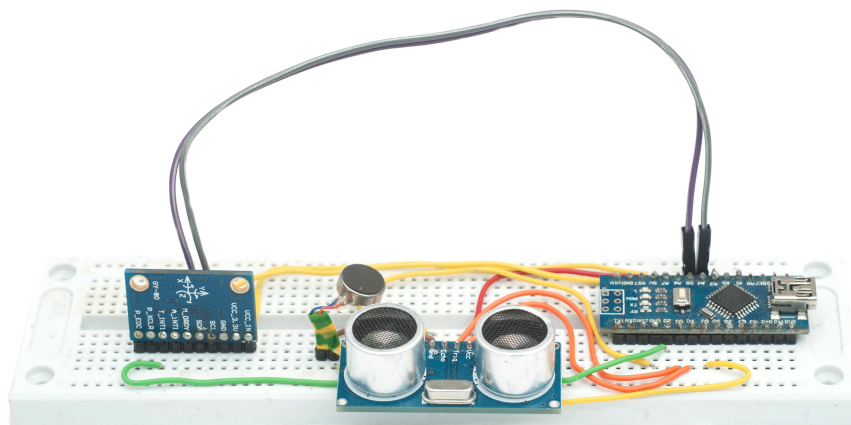
Docelowo sygnalizator umieszczony jest pod owijką na rączce laski, bez żadnej dodatkowej obudowy by wibracje ostrzegawcze były jak najlepiej wyczuwalne nawet podczas używania urządzenia w rękawiczkach.

¹Dropout Voltage – różnica napięć pomiędzy wejściem a wyjściem regulatora, zapewniająca stabilną pracę

2.2. Analiza funkcjonowania prototypu

Po dobraniu komponentów wykonany został prototyp na płytce stykowej korzystając z gotowych modułów dostępnych na rynku:

- **Arduino Nano** – popularny moduł rozwojowy oparty o mikrokontroler ATmega328P oraz bootloader pozwalający na programowanie za pomocą zintegrowanego konwertera USB-FTDI
- **IMU GY-80** – (ang. *Inertial Measurement Unit*) – zintegrowany moduł zawierający akcelerometr, żyroskop, barometr i magnetometr
- **HC-SR04** – moduł ultradźwiękowego sensora odległości, wykorzystywany również w produkcyjnej wersji urządzenia



Rys. 2.2. Prototyp rozwiązania na płytce stykowej

Wykonane zostały również podstawowe testy rozwiązania, zweryfikowane zostało poprawne dokonywanie pomiarów odległości oraz funkcjonowanie uspiania urządzenia za pomocą akcelerometru.

Zdiagnozowano problem użytkowy, w sytuacji, w której użytkownik odłożył urządzenie w taki sposób, że wykrywało ono w sposób ciągły przeszkodę (na przykład do pokrowca). Powodowało to nieustające drganie mechanizmu haptycznego, a w efekcie brak możliwości uspiania urządzenia, mimo braku aktywności. W celu rozwiązania problemu wprowadzono dolny próg pomiaru odległości, który wynosi 5 centymetrów. Poniżej tej wartości pomimo wykrycia przeszkody użytkownik nie jest ostrzegany – zakłada się, że urządzenie nie jest użytkowane.

Na drodze doświadczalnej dobrano również kąt montażu urządzenia na lasce, tak by nie ostrzegała ona o przeszkodach znajdujących zdecydowanie powyżej głowy użytkownika. Zweryfikowano również pierwotne założenia dotyczące użytecznych zasięgów urządzenia i zdecydowano się na ich zmianę.

2.3. Oprogramowanie urządzenia

Oprogramowanie urządzenia zostało przygotowane w języku C++ z wykorzystaniem bibliotek dostępnych w ramach platformy Arduino. Zastosowana została obiektowa metodyka wytwarzania oprogramowania by umożliwić wygodne rozszerzanie projektu w przyszłości lub jego zintegrowanie z innym projektem.

Firmware składa się z klasy `SmartCane`, wykrywającą i sygnalizującą przeszkody oraz klasy pomocniczej `MotionHandler` obsługującej akcelerometr i automatyczne usypianie oraz budzenie urządzenia. Klasa `MotionHandler` wykorzystuje makra pomocnicze do konwersji stałych bajtowych, dostępne w domenie publicznej.

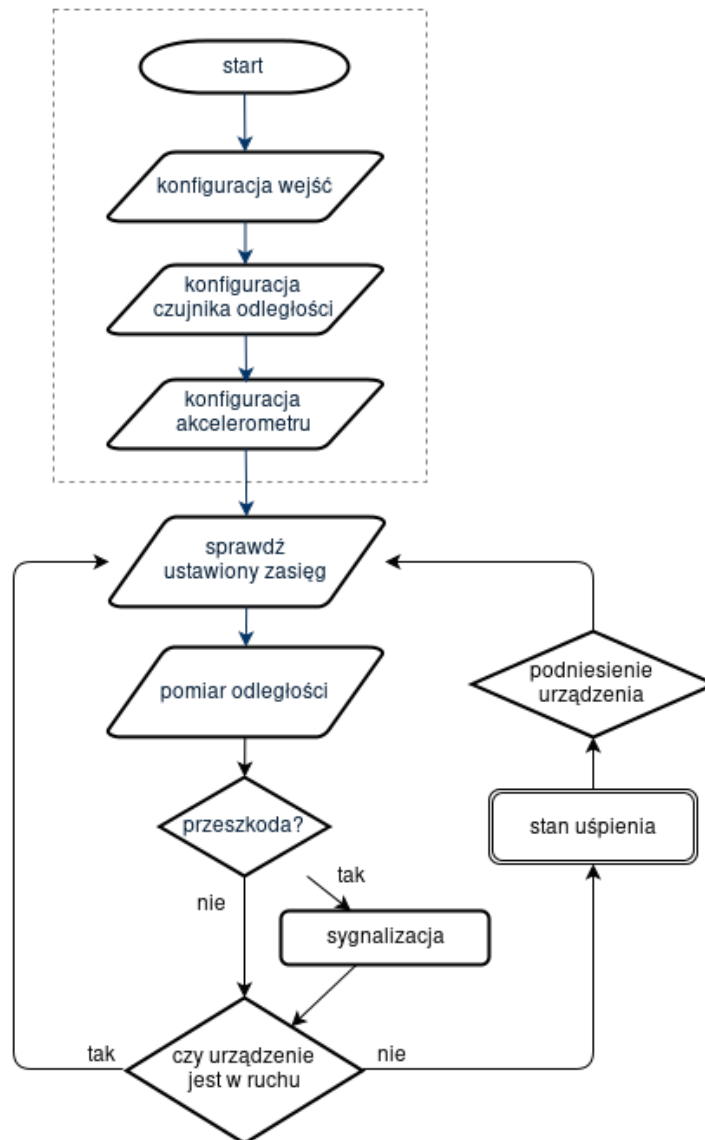
Do budowania oprogramowania wykorzystane zostało środowisko *PlatformIO* zintegrowane z edytorem *Atom*. Dzięki kompatybilności z platformą Arduino możliwe jest jego uruchomienie na wielu mikroprocesorach dostępnych w ramach tego środowiska. Między innymi innych mikroprocesorach AVR (np. ATmega32u4 dostępna w Arduino Micro), Intel Quark czy też ESP8266. Wymaganiem koniecznym jest minimum 8 kB pamięci flash, magistrala I2C oraz 6 portów GPIO.

Zasadę działania oprogramowania obrazuje rysunek 2.3. Składa się z dwóch części – konfiguracyjnej², która wywoływana jest jednokrotnie po podłączeniu urządzenia do zasilania (np. po włączeniu przełącznikiem) oraz części aktywnej – wykonywanej w pętli podczas pracy urządzenia.

W segmencie konfiguracyjnym ustawiane są rejestry portów cyfrowych mikrokontrolera w celu obsłużenia wejść cyfrowe do skracania zasięgu, wyjść do sygnalizacji haptycznej oraz komunikacji z sensorem odległości. Konfigurowany jest również akcelerometr, przestawiany jest w tryb niskiej dokładności pomiaru oraz ustawiane są rejestry, które powodują wysyłanie przerw w przypadku wykrycia bezczynności (np. gdy urządzenie zostanie odłożone i nie będzie używane przez dłuższą chwilę) czy też wykrycia aktywności – celem ponownego wybudzenia urządzenia.

Następnie, w części aktywnej, w pętli wykonywane są pomiary odległości i jeżeli przekroczony zostanie zasięg ustawiony przełącznikiem – fakt ten jest sygnalizowany haptycznie użytkownikowi. Wyjątkiem jest sytuacja, w której akcelerometr wyśle przerwanie procesorowi w przypadku bezczynności. Urządzenie jest wtedy usypiane by zminimalizować pobór energii do czasu ponownego wybudzenia.

²na rysunku objęta obramowaniem



Rys. 2.3. Schemat blokowy działania oprogramowania urządzenia

Część inicjalizacyjna

Po podłączeniu urządzenia do zasilania (włączeniu przełącznikiem) skonfigurowane są:

- dwa GPIO odpowiadające przełącznikowi odległości, w trybie INPUT
- dwa GPIO do komunikacji z sensorem odległości OUTPUT oraz jeden INPUT
- jedno GPIO do sterowania modułem sygnalizacji haptycznej, w trybie OUTPUT.

Inicjalizowana jest również magistrala I2C³ do komunikacji z akcelerometrem.

³magistrala szeregową wykorzystująca do komunikacji dwa piny cyfrowe - linię zegarową oraz linię danych

Konfiguracja akcelerometru

Aby umożliwić usypianie urządzenia podczas bezczynności, a następnie jego budzenie po powrocie do aktywności konieczne jest skonfigurowanie akcelerometru by wysyłał on mikrokontrolerowi przerwania po wykryciu aktywności lub jej braku.

Zrealizowane zostało to poprzez odpowiednie ustawienie wartości rejestrów akcelerometru. W szczególności rejestry:

- INT_MAP – 0 – by przerwania były wysyłane na port INT_0,
- INT_ENABLE – 0x0011000 – by wysyłane były przerwania o aktywności (bit piąty) oraz jej braku (bit czwarty),
- TIME_INACT – 10 – czas po którym urządzenie uznaje się za nieaktywne, jeżeli się nie porusza (10 sekund).

Rejestr konfiguracyjny przerwania - INT_ENABLE Akcelerometr posiada ośmiobitowy rejestr dekodowany konfigurowaniu zdarzeń, w których wysyłane będzie przerwanie. Możliwe rodzaje zdarzeń:

- D6: SINGLE_TAP – pojedyncze „stuknięcie”,
- D5: DOUBLE_TAP – podwójne „stuknięcie”,
- D4: ACTIVITY – aktywność, urządzenie w ruchu,
- D3: INACTIVITY – brak aktywności,
- D2: FREE_FALL – swobodne spadanie.

Podczas obsługi przerwania odczytywana jest wartość rejestru INT_SOURCE, w którym ustawiony jest odpowiedni bit odpowiadający zdarzeniu, analogicznie do ich znaczeń w rejestrze INT_ENABLE.

Skonfigurowano również rejestr POWER_CTL, obsługujący zarządzanie energią w samym akcelerometrze. Skonfigurowano następujące bity:

- D5: Link – 1 – by obsługiwać naprzemiennie aktywność oraz jej brak,
- D4: AUTO_SLEEP – 1 – automatyczne usypianie akcelerometru podczas braku aktywności,
- D3: Measure – 1 – by sensor dokonywał pomiarów podczas użytkowania urządzenia,
- D2: Sleep – 0 – by sensor nie został uspijony zaraz po uruchomieniu urządzenia,
- D1, D0: Wakeup – 0 – by ustawić częstotliwość pomiarów podczas stanu uspienia.

By uzyskać responsywność urządzenia po jego podniesieniu i ponowieniu użytkowania zdecydowano się na ustawienie maksymalnej częstotliwości pomiarów podczas uspienia spośród dostępnych (1 Hz, 2 Hz, 4 Hz, 8 Hz). Niezależnie od wybranego trybu pobór prądu wynosi kilka mikroamperów, a wyższa wartość minimalizuje opóźnienie w uruchomieniu urządzenia ze stanu uspienia.

W rejestrze BW_RATE konfigurującym pracę sensora podczas pomiarów ustawiono wartość 0x00010000, by ustawić tryb LOW_POWER (bit czwarty), a częstotliwość wysyłania danych pomiarowych na minimum (ostatnie cztery zerowe bity). Akcelerometr służy jedynie do wykrywania bezczynności – przesłane wartości przyspieszeń są odczytywane z magistrali.

Część robocza

Ta część oprogramowania wywoływana jest w pętli podczas pracy urządzenia ze stumilisekundowym opóźnieniem pomiędzy iteracjami. Daje to częstotliwość dokonywania pomiarów około 10 Hz. Czas reakcji po wykryciu przeszkody to maksymalnie 100 ms.

Ustawienie aktywnego zakresu pomiaru

Urządzenie posiada trzy tryby pracy, różniące się między sobą progiem odległości poniżej którego sygnalizowana jest przeszkoda:

- standardowy: 120cm,
- skrócony: 80cm,
- bliski: 30cm.

Tryb **standardowy** jest przeznaczony do codziennego dynamicznego poruszania się z urządzeniem, próg ten pozwala na wykrywanie przeszkód z odpowiednim wyprzedzeniem by użytkownik zdążył się zatrzymać lub zasłonić przed przeszkodą. W trybie **skróconym** użytkownik ma możliwość wykorzystania urządzenia do np. wyszukiwania krawędzi drzwi czy wolnych miejsc w środkach komunikacji miejskiej. Natomiast tryb **bliski** zastosowanie ma np. podczas poruszania się w kolejce.

Przełączenie trybów następuje za pomocą przełącznika trójpozycyjnego przesuwne umieszczonego na ręczce laski, jego przesunięcie z pozycji neutralnej (trybu standardowego) w dół powoduje zwarcie odpowiedniego pinu cyfrowego mikrokontrolera do masy.

Wejścia cyfrowe odpowiadające przełącznikowi zostały skonfigurowane w trybie INPUT_PULLUP, zatem ich stanem domyślnym jest stan wysoki. Tryb funkcjonowania urządzenia jest sprawdzany w funkcji `checkMode()` należącej do klasy `SmartCane`.

Tabela 2.3. Funkcja konfigurująca tryb funkcjonowania urządzenia

```
CANE_OPERATION_MODE SmartCane::checkMode() {
    if(digitalRead(PIN_SHORTEN_RANGE) == LOW)
        operationMode = CANE_OPERATION_SHORTEN;
    else if(digitalRead(PIN_SHORTEST_RANGE) == LOW)
        operationMode = CANE_OPERATION_SHORTEST;
    else
        operationMode = CANE_OPERATION_NORMAL;

    return operationMode;
}
```

Pomiar odległości

Pomiar odległości realizowany jest za pomocą czujnika ultradźwiękowego, który posiada zintegrowane elementy pasywne oraz kontroler procesu pomiarowego. Jego obsługa polega na podaniu sygnału wysokiego o czasie minimum 10 mikrosekund na wyprowadzenie TRIG, a następnie oczekiwanie na impuls stanu wysokiego na pinie ECHO oraz zmierzenie czasu jego trwania. Jest on równoznaczny z czasem propagacji impulsu ultradźwiękowego od nadajnika do przeszkody i z powrotem, co umożliwia późniejsze przeliczenie na odległość od czujnika do przeszkody. W tabeli 2.4 przedstawiona została implementacja obsługi sensora. Do pomiaru czasu impulsu wykorzystana została funkcja `pulseIn` dostępna w środowisku Arduino.

TRIGGER_PIN oraz ECHO_PIN są to stałe wskazujące odpowiednie porty do których podłączony został sensor. TRIGGER_PIN został skonfigurowany jako wyjście, ECHO_PIN jako wejście. Nie jest konieczne stosowanie zewnętrznych rezystorów podciągających ani translacja poziomów.

Pomiary wywoływane są z głównej pętli programu z częstotliwością około 10 Hz, między pomiarami zachowywane jest 100 ms odstępu.

Tabela 2.4. Pomiar odległości

```
unsigned int SmartCane::getRange() {
    long duration;

    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);

    duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);

    return (unsigned int) (duration / 2) / 29.1;
}
```

Wykrywanie przeszkód

Po wykonaniu pomiaru odległości, otrzymany wynik przekazywany jest do funkcji decydującej o wykryciu przeszkody (Tabela 2.5). Algorytm decyzyjny zrealizowany został poprzez porównanie zmierzonej odległości z progiem odległości odpowiadającym aktualnie ustawionemu trybowi pracy.

Filtracja pomiarów nie jest konieczna, gdyż bardziej istotny jest czas reakcji urządzenia na wykrytą przeszkodę, niż dokładność pomiaru. Chwilowe zaburzenia pomiaru mogą powodować chwilowe krótkie wibracje (około stu milisekund, do kolejnego pomiaru), ledwie wyczuwalne przez użytkownika.

Ignorowane są natomiast pomiary poniżej pięciu centymetrów – zakłada się wtedy, że urządzenie zostało odłożone do pokrowca.

Tabela 2.5. Wykrywanie przeszkody

```
void SmartCane::parseRange(unsigned int _centimeters){
    unsigned int rangeThreshold = RANGE_THRESHOLD_NORMAL;
    switch (operationMode){
        case CANE_OPERATION_NORMAL:
            rangeThreshold = RANGE_THRESHOLD_NORMAL;
            break;
        case CANE_OPERATION_SHORTEN:
            rangeThreshold = RANGE_THRESHOLD_SHORTEN;
            break;
        case CANE_OPERATION_SHORTEST:
            rangeThreshold = RANGE_THRESHOLD_SHORTEST;
            break;
    }

    if(_centimeters < rangeThreshold && _centimeters > 5)
        output->on();
    else
        output->off();
}
```

Sygnalizacja haptyczna

W przypadku zastosowania silnika wibracyjnego jako modułu sygnalizacji haptycznej, jego obsługa polega na sterowaniu pinem cyfrowym mikrokontrolera. Należy przy tym zwrócić uwagę, że silnik kluczowany jest tranzystorem, gdyż bezpośrednio wysterowanie go z pinu cyfrowego mikrokontrolera mogłoby spowodować jego uszkodzenie.

Tabela 2.6. Wykrywanie przeszkody

```
void SmartCane::outputOn() {  
    digitalWrite(pin, HIGH);  
}  
void SmartCane::outputOff() {  
    digitalWrite(pin, LOW);  
}
```

2.4. Projekt

Istotnym celem pracy było przygotowanie kompletnej dokumentacji produkcyjnej umożliwiającej powielenie urządzenia i przygotowanie go do masowej produkcji. Wykorzystano w tym celu narzędzia dostępne w pakiecie EasyEDA⁴ (schemat, projekt PCB) dostępnym online oraz oprogramowanie OpenSCAD (model 3D obudowy). Projekt przewiduje możliwość rozbudowania rozwiązania o dodatkowy silnik wibracyjny. Kompletna dokumentacja umieszczona została w rozdziale czwartym. W tym rozdziale zostaną omówione jego elementy.

Schemat połączeń

Sporządzono schemat połączeń elektrycznych (Rys. 4.2 w rozdziale czwartym), składający się z trzech sekcji:

- układu zasilania: regulatora oraz kondensatorów filtrujących,
- akcelerometru wraz z rezystorami podciągającymi,
- części wykonawczej: mikrokontrolera oraz tranzystorów sterujących mechanizmem wibracyjnym oraz wyprowadzeniami dla sensora odległości.

Projekt PCB

Wykonana została standardowa płytką dwuwarstwowa, o wymiarach 14x25mm. Na stronie górnej umiejscowiony został mikrokontroler w obudowie TQFP32, oraz akcelerometr w obudowie LGA-14. Na spodzie znajdują się tranzystory sterujące mechanizmem wibracyjnym, regulator zasilania oraz kondensatory filtrujące. Mozaika ścieżek została wykonana w taki sposób by spełniać wymagania produkcyjne serii prototypowych:

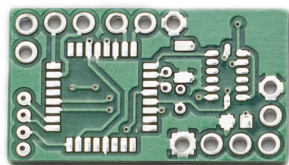
- szerokość ścieżek – minimum 8 mil⁵,
- odstęp między ścieżkami, elementami – minimum 8 mil,
- szerokość pierścienia wokół otworów – minimum 8 mil.

Dla mikrokontrolera zostały wyprowadzone punkty interfejsu ICSP (ang. *In-Circuit System Programmer*) – MOSI (ang. *Master Output Slave Input*), MISO (ang. *Master Input Slave Output*), SCK (ang. *Software Clock*), oraz RESET – w postaci okrągłych padów. Na etapie prototypowym programowanie następuje poprzez tymczasowo dolutowane połączenia za pomocą kynaru⁶, możliwe jest wykonanie prostego narzędzia w postaci klipsa by ułatwić masowe programowanie płytek. Dodatkowo by ułatwić weryfikację poprawnego montażu i funkcjonowania akcelerometru, punkty kontrolne zostały wyprowadzone również dla magistrali TWI (ang. *Two Wire Interface*).

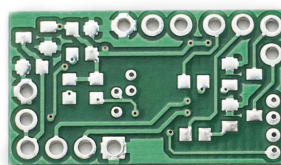
⁴<http://easyeda.com/editor/>

⁵ 1 mil = 1/1000 cala

⁶ kynar – przewód montażowy z beztlenowej miedzi srebrzonej w cienkiej izolacji



(a) Wykonane PCB - od góry



(b) Wykonane PCB - od spodu

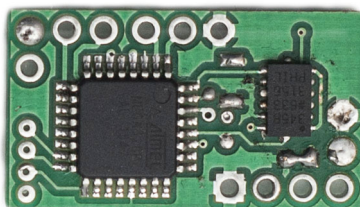
Rys. 2.4. Górna i dolna strona PCB po wykonaniu

Płytką zaprojektowaną została w taki sposób by zostać zamocowaną na tyle czujnika odległości za pomocą goldpinów.

Montaż

Montaż komponentów został wykonany ręcznie, za pomocą konsumenckich lutownic (kolbowej i na gorące powietrze). Większość elementów pasywnych (rezystory, kondensatory), w obudowach 0603, nie sprawia problemu podczas lutowania.

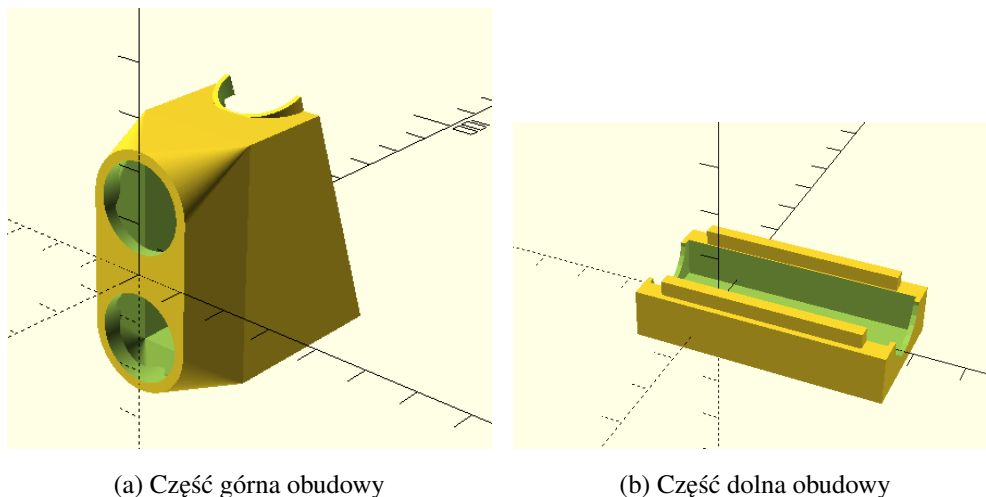
Wymagającym elementami były: mikrokontroler w obudowie TQFP32 (ze względu małego rozmiaru i rastru wyprowadzeń) oraz akcelerometr ADXL345 w obudowie LGA-14, z powodu szczególnej wrażliwości na zmiany temperatury. Powinien być on ogrzewany zgodnie z procedurą określoną w dokumentacji [7].

**Rys. 2.5.** PCB z zamontowanym MCU oraz akcelerometrem.

Projekt obudowy

Projekt obudowy został wykonany w oprogramowaniu OpenSCAD, które jest narzędziem pozwalającym na parametryczne przygotowywanie modeli 3D w oparciu o podstawowe bryły (prostokąty, cylinder, sfera) oraz ich transformacje i kombinacje.

Wykonane zostały dwa modele trójwymiarowe z których składa się obudowa urządzenia - w części górnej umieszczony został sensor oraz elektronika sterująca. Część dolna służy do montażu urządzenia na lasce.



Rys. 2.6. Modele trójwymiarowe dwóch komponentów obudowy urządzenia

Modele zostały zaprojektowane by elementy idealnie przylegały do siebie i umożliwiły montaż bez skręcania. Część dolna mocowana jest do laski za pomocą zaciskowych opasek montażowych. Prototyp zamocowany na lasce widoczny jest na Rys. 2.7



Rys. 2.7. Urządzenie zamocowane na lasce

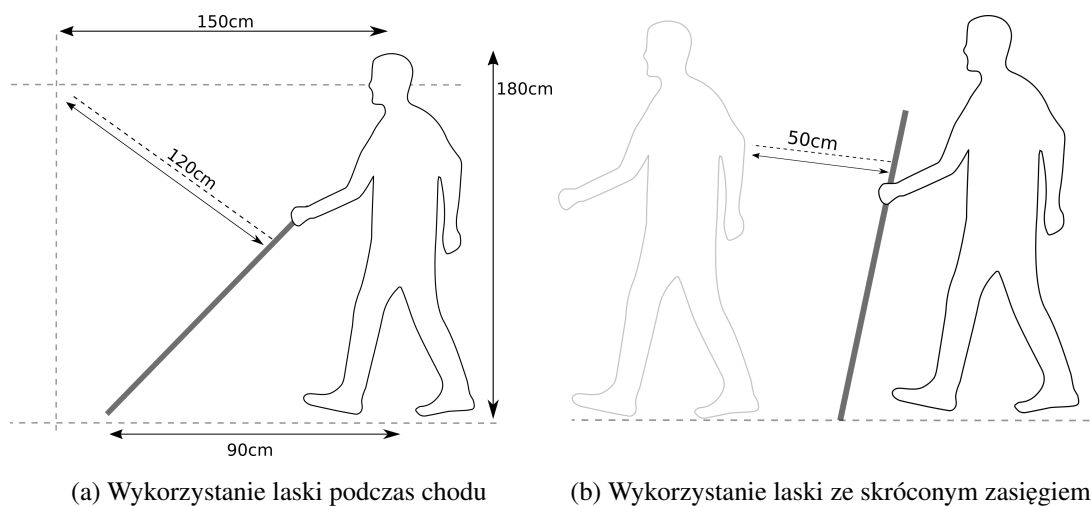
3. Testy wersji produkcyjnej

Po wykonaniu wersji produkcyjnej urządzenia przeprowadzono szereg testów mających na celu zwerifikowanie funkcjonalności rozwiązania i nakreślenie ewentualnych obszarów wymagających dalszego rozwoju. Scenariusze zostały zaprojektowane w taki sposób by jak najwierniej oddawać codzienne sytuacje z jakimi spotyka się osoba niewidoma poruszająca się zarówno w pomieszczeniach jak i na zewnątrz.

Sposób użytkowania urządzenia

Na rysunku 3.1 zobrazowano sposób trzymania i wykorzystania laski w trybie standardowym i skróconego zasięgu. W obydwu przypadkach użytkownikiem testowym była osoba o wzroście 180cm. Moduł pomiarowy został zamocowany w sposób umożliwiający wykrywanie przeszkód na wysokości głowy i w odległości około półtora metra.

Tryb skróconego zasięgu wymaga trzymania laski w sposób bardziej pionowo – dzięki czemu możliwy jest pomiar na bliską odległość i na przykład poruszanie się za inną osobą w kolejce.



Rys. 3.1. Schematy obrazujące sposób trzymania i użytkowania urządzenia

3.1. Ergonomia urządzenia

Laska posiada fabrycznie wyprofilowany uchwyt. Sposób jej złapania jest intuicyjny dla użytkownika, co minimalizuje ryzyko dokonywania pomiarów w złym kierunku. Nie stwierdzono wpływu wagi urządzenia (19 gram z akumulatorem i obudową) na standardowe użytkowanie laski (testowany model – 255 gram). Zamontowanie urządzenia wymaga natomiast wymiany pokrowca, ponieważ korzystanie z fabrycznego nie jest możliwe.

Wibracje są wyraźne, mechanizm umieszczony jest na spodzie uchwytu pod miękką owijką. Sygnalizacja odczuwalna jest również w przypadku korzystania z rękawiczek. Wyraźne osłabienie wibracji zaobserwowano jedynie przy wykorzystaniu rękawic narciarskich.

Dzięki istnieniu wspomnianego wcześniej dolnego progu sygnalizacji (ignorowaniu pomiarów poniżej 5 centymetrów) urządzenie usypia się samoczynnie po odłożeniu do pokrowca.

Urządzenie spełniło funkcjonalne założenie szesnastu godzin pracy podczas intensywnych dwudniowych testów bez konieczności ładowania akumulatora. Test został przeprowadzony na nowym akumulatorze. Przed wdrożeniem rozwiązania należałoby przeprowadzić pełne wielokrotne testy również w aspekcie zużywania się akumulatora.

3.2. Testy wewnątrz pomieszczeń

Testy wewnątrz pomieszczeń wykonano w przestrzeni biurowej, symulując przeszkody na wysokości głowy i klatki piersiowej (120 cm wzwyż) wykonane z różnych materiałów i umiejscowione w różnych odległościach.

Wykrywanie przeszkód różnego rozmiaru

Urządzenie bardzo wyraźnie sygnalizuje przeszkody większe, podczas ruchu laską pojawiające się w jej zasięgu na odległości kilkunastu centymetrów ruchu. Przeszkody o rozmiarze mniejszym (np. wisząca klasyczna żarówka) są trudniejsze do wykrycia i mogą zostać przeoczone, gdyż wibracja jest bardzo krótka.

Wykrywanie krawędzi drzwi i przejść

Podczas testów nie wykazano szczególnej przydatności urządzenia przy wykrywaniu krawędzi drzwi czy też przejść. Urządzenie może natomiast ostrzec użytkownika o gwałtownie zniżającym się stropie.

Obserwowanie ruchu drzwi obrotowych

Wykonano próbę obserwacji działania drzwi obrotowych, jednak sygnalizacja była trudna w interpretacji. Przy idealnym ustawieniu laski urządzenie sygnalizowało każdy moment w którym ramię drzwi zbliżało się do użytkownika, jednak trudnym wydało się wywnioskowanie faktycznego rytmu i kierunku działania drzwi. Takie zastosowanie urządzenia może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji, nie jest ono zalecane.

3.3. Testy na zewnątrz pomieszczeń

Wykrywanie znaków, elementów metalowych

Urządzenie pomyślnie ostrzega o większych przeszkodach powszechnych w przestrzeni miejskiej, takich jak: znaki drogowe, naczepy samochodów, słupy, latarnie.

Wykrywanie konarów drzew, gałęzi

Urządzenie wykrywa wystające konary drzew pod warunkiem, że te są dosyć grube lub pokryte liśćmi. Dla pojedynczych gałęzi impuls jest dość krótki i zależy od kąta ustawienia laski, istnieje możliwość przeoczenia przeszkody.

Wpływ czynników atmosferycznych na funkcjonowanie urządzenia

Wpływ niskich temperatur: Nie odnotowano żadnego wyraźnego wpływu ujemnych temperatur (do -5 stopni Celsjusza) na funkcjonowanie urządzenia, należy jednak zaznaczyć, że niskie temperatury w sposób znaczący skracają czas pracy akumulatorów.

Wpływ opadów deszczu i śniegu: Umiarkowane opady zarówno deszczu jak i śniegu nie wpływają na funkcjonowanie urządzenia. Zwrócono jednak uwagę, że przez otwartą konstrukcję urządzenia nie nadaje się ono do użytkowania w sposób ciągły podczas opadów.

3.4. Wykorzystanie możliwości skracania zasięgu

Wykorzystanie urządzenia do poruszania się w kolejce

W trybie skróconego zasięgu urządzenie pozwala na komfortowe poruszanie się w kolejce. Gdy laska jest trzymana w pionie czujnik ustawiony jest w taki sposób, że celuje w osobę przed użytkownikiem na wysokości około stu centymetrów. Po ustaniu wibracji użytkownik wie, że należy się przesunąć do przodu.

Wykorzystanie urządzenia po złożeniu laski

W przypadku montażu urządzenia na lasce składanej można je również wykorzystać po złożeniu laski, na przykład podczas wyszukiwania wolnego miejsca w środkach komunikacji miejskiej.

4. Dokumentacja techniczna

Zestawienie materiałowe (*Bill of Materials*)

Wykorzystane komponenty pochodziły z różnych źródeł, jednak na liście uwzględnione zostały komponenty dostępne u dystrybutora Farnell¹ dla znormalizowania kosztorysu i zapewnienia powtarzalności rozwiązania. Wskazane komponenty u tego dystrybutora dostarczane są na taśmach, tak więc możliwe jest zautomatyzowanie montażu.

Lista wykorzystanych komponentów:

Nazwa	Model	Obudowa	Producent	Farnell No
MCU	ATMega328p-AU	TQFP32	AVR	2425124
LDO	MCP1700T-3302E/TT	SOT-23-3	Microchip	1296592
Akcelerometr	ADXL345	LGA	Analog Devices	1853935
Tranzystor NPN	MMBT2222LT1G	SOT-23-3	On Semiconductor	1653622
Rezystor 10K	RC0603FR-0710KL	R0603	YAGEO	9238603
Kondensator 10uF	GRM188R60J106ME47J	C0603	MURATA	2611921

Tabela 4.1. Tabela wykorzystanych elementów

¹<http://farnell.com>

Kosztorys

Kosztorys rozwiązania został sporządzony dla produkcji pojedynczej sztuki, oraz dla serii tysiąca sztuk. Zamieszczone kwoty są cenami obowiązującymi w sklepie internetowym Farnell² na dzień 02.01.2017.

Koszt wykonania PCB zgodnie z kalkulatorem Satland Prototypes³. Należy zaznaczyć, że w przypadku produkcji jednej sztuki koszt będzie zawyżony ze względu na minimalny wolumen produkcyjny. Szczegółowy kosztorys przedstawiony jest na poniższych tabelach:

Element	Ilość	Cena	Koszt	Element	Ilość	Cena	Koszt
atmega328	1	16.5	16.5	atmega328	1	8.08	8.08
LDO	1	1.65	1.65	LDO	1	1.13	1.13
ADXL345	1	27.23	27.23	ADXL345	1	15.24	15.24
Tranzystor NPN	2	0.51	1.02	Tranzystor NPN	2	0.11	0.22
Rezystor 10K	6	0.04	0.24	Rezystor 10K	6	0.03	0.18
Kond. 10uF	2	0.25	0.5	Kond. 10uF	2	0.12	0.24
Płyta PCB	1	55.35	55.35	Płyta PCB	1	3.22	3.22
SUMA			102 PLN	SUMA			28 PLN

(a) Kosztorys dla jednej sztuki urządzenia

(b) Kosztorys dla tysiąca sztuk

Tabela 4.2. Porównanie kosztorysów dla jednej sztuki oraz serii tysiąca urządzeń

Koszta materiałów na jedno urządzenie to około 102PLN brutto przy produkcji jednej sztuki, oraz około 28PLN brutto dla serii tysiąca urządzeń.

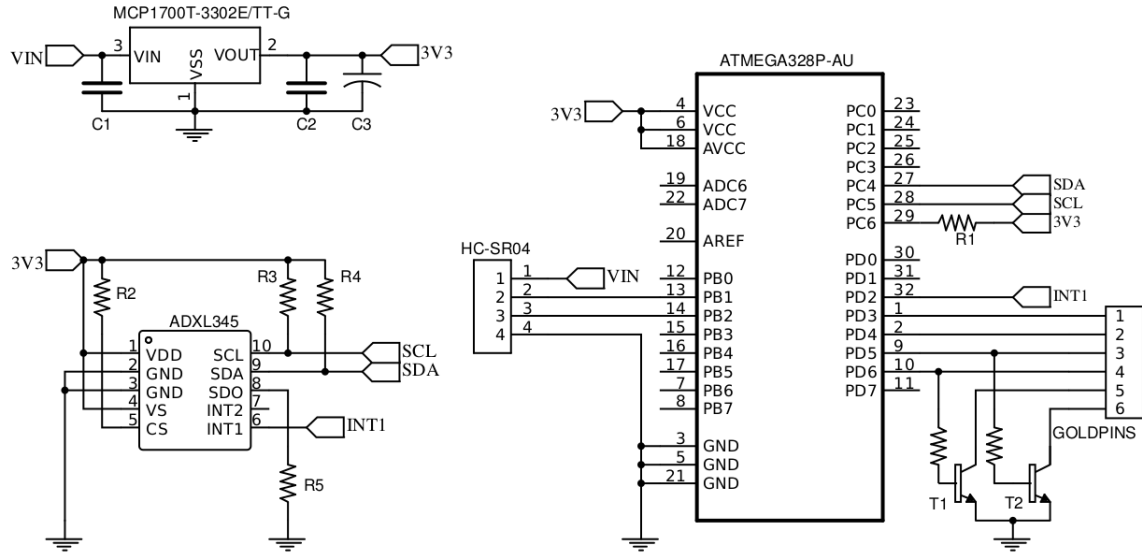
Kosztorys nie uwzględnia wykonania obudowy, gdyż jest on trudny do oszacowania i zależy od wielu czynników. Czas wydruku obudowy w technice druku 3D (tzw. rapid prototyping) to około godzinny. Typowym kosztem zlecenia takiego wydruku jest 30PLN brutto (Kraków, 2016r).

²<http://farnell.com>

³<http://prototypy.com>

Schemat połączeń

Na rysunku 4.2 przedstawiono schemat połączeń mikrokontrolera, akcelerometru oraz modułu zasilania.

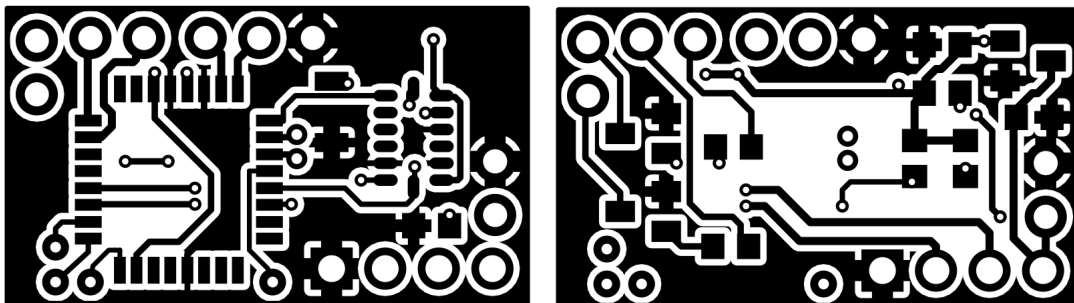


Rys. 4.2. Schemat połączeń

PCB

PCB Należy wykonać na laminacie dwustronnym o standardowej grubości miedzi (35 μ m). Konieczna jest metalizacja otworów celem połączenia warstw. Zalecana jest soldermaska i cynowanie HAL. Projekt ma wymiary 24x14mm, 30 otworów (14 przelotek). Obie warstwy zalane są polem miedzi.

Wszystkie ścieżki, odstęp między elementami oraz obrysy wokół otworów to minimum 8mil. Projekt spełnia wymagania produkcji prototypowej firmy Satland.



(a) Widok PCB – górna warstwa miedzi

(b) Widok PCB – dolna warstwa miedzi

Rys. 4.3. Projekt płyty PCB

Instrukcja montażu oraz programowania urządzenia

Montaż serii prototypowej urządzenia może zostać wykonany ręcznie. Wszystkie elementy są w obudowach do montażu powierzchniowego. Szczegółnej uwagi wymaga akcelerometr, dla którego został określony szczególny profil temperaturowy, który powinien zostać zachowany podczas jego montażu [7].

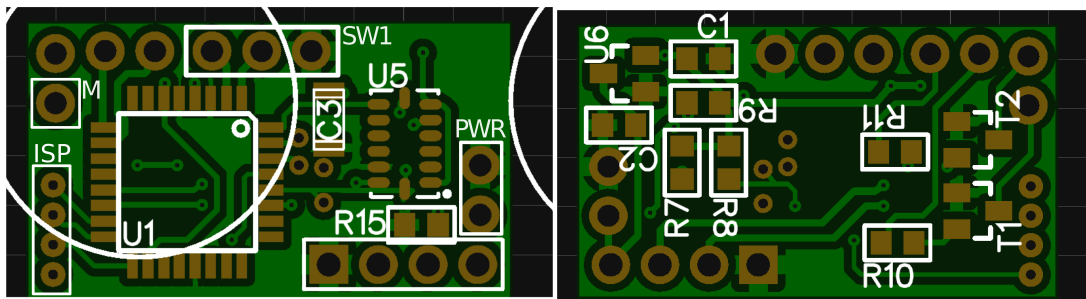
Na warstwie górnej należy umieścić:

- U1, mikrokontroler atmega328p-au w obudowie tqfp32,
- U5, akcelerometr ADXL345 w obudowie LGA-14,
- C3, opcjonalny kondensator tantalowy 22uF,
- R15, rezystor podciągający 10k.

Na spodzie płytki:

- U6, regulator zasilania,
- C1, C2, kondensatory filtrujące 10uF ,
- R6, R7, R8, rezystory pociągające 10k,
- R10, R11, kluczujące tranzystory 10k,
- T1, T2, tranzystory sterujące sygnalizacją haptyczną.

Montaż elementów R11 oraz T2 jest opcjonalny. W projekcie wykorzystywane jest tylko jedno z wyjść cyfrowych do sterowania silnikiem wibracyjnym.



(a) Elementy na górnej warstwie płytki

(b) Elementy umiejscowione na spodzie płytki

Rys. 4.4. Instrukcja montażu

Programowanie mikrokontrolera następuje poprzez magistralę ISP dostępną przy lewej krawędzi płytki. Odpowiednio od góry wyprowadzone zostały: MOSI, MISO, SCK, RST.

Następnie płytka może zostać zamontowana z tyłu czujnika ultradźwiękowego za pomocą konektorów typu goldpin (cztery wyprowadzenia obok rezystora R15). Akumulator podłączyć można wraz z zewnętrznym przełącznikiem bistabilnym do portów oznaczonych jako PWR, masa od góry.

Do wyprowadzeń oznaczonych jako SW1 należy podłączyć przełącznik do skracania odległości, odpowiednio od lewej PIN_SHORTEST_RANGE, PIN_SHORTEN_RANGE, GND.

Silnik wibracyjny należy podłączyć przewodem masowym do gniazda oznaczonego M na schemacie, jego stronę dodatnią należy podłączyć bezpośrednio do zacisku pozytywnego akumulatora.

Wnioski

Osoby niewidome korzystają z różnego rodzaju narzędzi ułatwiających im codzienne poruszanie się i funkcjonowanie w społeczeństwie. Między innymi białych lasek ułatwiających im orientację w przestrzeni. Jest to rozwiązanie sprawdzone, jednak posiadające pewne ograniczenia. Brak możliwości wykrycia przeszkód znajdujących się poza zasięgiem standardowej laski - na wysokości głowy czy klatki piersiowej może stanowić zagrożenie dla życia lub zdrowia użytkownika. W pracy przedstawiono rozwiązanie tego problemu poprzez rozszerzenie funkcjonalności standardowej laski o urządzenie, które za pomocą ultradźwiękowego czujnika odległości wykrywa przeszkody oraz ostrzega użytkownika wibracjami. Przeanalizowane zostały możliwości pomiaru odległości (rodzaje czujników), dostępne platformy wbudowane oraz aspekt optymalizacji rozwiązania pod kątem oszczędności energii.

By zweryfikować założenia projektu wykonany został prototyp na płytce stykowej wykorzystując płytkę prototypową Arduino Nano oraz gotowe moduły – ultradźwiękowy czujnik odległości oraz IMU zawierające akcelerometr, który został wykorzystany do wykrywania bezczynności i automatycznego usypiania urządzenia po jego odłożeniu.

Następnie wykonano funkcjonalny prototyp urządzenia, składający się z dedykowanej płyty PCB połączonej z czujnikiem odległości oraz zamontowany na standardowej lasce dla osób niewidomych w obudowie wykonanej w technice druku 3D. Prototyp ten został przetestowany w sytuacjach imitujących codzienne użytkowanie przez osobę niewidomą oraz przeszkody, które mogą się znajdować zarówno wewnątrz budynków, jak i na zewnątrz – w przestrzeni miejskiej.

Zauważono problem z brakiem osłony czujnika odległości przed warunkami atmosferycznymi, co wyklucza użytkowanie urządzenia w sposób stały podczas opadów. Wykonana obudowa dedykowana jest do potrzeb konkretnej osoby, nie daje możliwości regulowania kąta nachylenia sensora, przez co urządzenia nie da się dostosować do potrzeb użytkownika o innym wzroście. Są to potencjalne obszary, w których projekt należałoby rozwinąć w przyszłości.

Sporządzono również kompletną dokumentację techniczną pozwalającą na powielenie rozwiązania i wdrożenie do masowej produkcji. W rozdziale czwartym umieszczono schemat połączeń, listę koniecznych elementów, projekt PCB oraz instrukcje montażu i uruchomienia urządzenia. Rozdział ten jako samodzielny dokument powinien umożliwić produkcję małej serii urządzeń.

Bibliografia

- [1] John Rempel. „Glasses That Alert Travelers to Objects Through Vibration? An Evaluation of iGlasses by RNIB and AmbuTech”. W: 13.9 (2012).
- [2] Rafał Charłampowicz. „Niedoceniane detektory przeszkód”. W: *Tyfloświat* (2011).
- [3] Alessio Carullo i Marco Parvis. „An Ultrasonic Sensor for Distance Measurement in Automotive Applications”. W: *IEEE SENSORS JOURNAL* 1.2 (2006), s. 143–147.
- [4] *Nota katalogowa mikrokontrolera ATmega 328p*.
http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf.
[Dostęp 15 Grudzień 2016].
- [5] *Nota katalogowa dalmierza ultradźwiękowego HC-SR04*.
<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>. [Dostęp 20 Grudzień 2016].
- [6] *Nota katalogowa dalmierza laserowego vl53l0x*.
<http://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>. [Dostęp 20 Grudzień 2016].
- [7] *Nota katalogowa akcelerometru ADXL345*.
<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>.
[Dostęp 20 Grudzień 2016].
- [8] *Nota katalogowa regulatora napięcia MCP1700*.
<http://www.farnell.com/datasheets/1784514.pdf>. [Dostęp 5 Styczeń 2017].