Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
Katedra Elektroniki

Autoreferat rozprawy doktorskiej

MOBILE SAFETY SYSTEM FOR THE BLIND (MOBILNY SYSTEM BEZPIECZEŃSTWA DLA OSÓB NIEWIDOMYCH)

Mgr inż. Wojciech Gelmuda

Promotor:
Prof. dr hab. inż. Andrzej Kos

Kraków, listopad 2014

Wstęp

We współczesnym świecie dzięki rozwojowi technologicznemu i technicznemu, praktycznie w każdej dziedzinie życia człowieka i gospodarki obecne są urządzenia i systemy elektroniczne. Miniaturyzacja oraz zmniejszanie poboru energii przez elementy elektroniczne zapewne doprowadzą do powstawania mikro i nanorobotów pomagających człowiekowi, lecz będących dla niego niewidocznymi. Co jest jednak dostępne już dzisiaj?

W dziedzinie medycyny i rehabilitacji zespoły naukowców i inżynierów prześcigają się w tworzeniu nowych i ulepszaniu istniejących urządzeń elektronicznych i elektromechanicznych, które mają pomagać osobom niepełnosprawnym w codziennej egzystencji. Tak samo jest w przypadku osób niewidomych i słabowidzących. Jednak jednym z kluczowych problemów w tej dziedzinie jest fakt, iż bardzo dużo informacji ze środowiska dostarczanych jest poprzez zmysł widzenia i dzięki tym informacjom człowiek odpowiednio reaguje na otoczenie. Bez dostarczenia niezbędnych informacji o otoczeniu, osoby niewidome nie mogą bezpiecznie przemieszczać się, zwłaszcza w nieznanym terenie. Dlatego korzystają z pomocy laski dla niewidomych oraz pozostałych zmysłów.

Według Światowej Organizacji Zdrowia na świecie jest ponad 40 milionów ludzi niewidomych. Istnieje wiele urządzeń wspomagających tych ludzi, np. urządzenia nawigacyjne, wykrywające proste przeszkody, etc. Jednak nadal istnieje wiele zagrożeń dla osób niewidomych, które są trudne do wykrycia, np. dziury w nawierzchni i uskoki terenu.

W procesie produkcji urządzeń i systemów elektronicznych można zaobserwować efekt skali. Dzięki czemu, nawet produkty wysokiej klasy mogą być sprzedawane po stosunkowo przystępnych cenach. Sprawa wygląda jednak inaczej w przypadku urządzeń produkowanych w mniejszych ilościach lub urządzeń produkowanych na specjalne zamówienie. Tak jest w przypadku produktów dla osób niewidomych. Często przyjęte dobre rozwiązania stosowane w urządzeniach produkowanych na masową skalę nie sprawdzają się lub są nawet niemożliwe do zastosowania przez osoby niewidome.

Podczas konsultacji z osobami niewidomymi oraz ich nauczycielami ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Osób Niewidomych i Słabowidzących w Krakowie zrodziła się koncepcja stworzenia urządzenia dla osób niewidomych do wykrywania m.in. dziur i uskoków terenu oraz obiektów na wysokości głowy i tułowia. Takie przeszkody są codzienną przyczyną potknięć oraz urazów osób niewidomych w drodze do szkoły czy pracy – zarówno w znanym, jak i nieznanym dla nich terenie. Ponieważ ogromna liczba ludzi niewidomych zamieszkuje kraje rozwijające się, nie mają oni niezbędnych środków na zakup drogich urządzeń dla nich, a dofinansowanie rządowe w takich sprawach jest z reguły zerowe. Z uwagi na to, że linijki Braille'a czy inne specjalistyczne wyświetlacze kosztują nawet tyle co nowy samochód, za jeden z pośrednich celów podczas projektowania urządzenia obrano jego niski koszt produkcji. Głównym celem było zaprojektowanie i stworzenie urządzenia dostosowanego do potrzeb osób niewidomych. Urządzenie to ma wykrywać dziury w nawierzchni, uskoki terenu oraz przeszkody znajdujące się na wysokości tułowia i głowy osoby niewidomej. Dodatkowo, urządzenie ma informować osoby niewidome o wykrytych przeszkodach w sposób, które nie będzie ingerował w ich percepcję słuchową otoczenia, być lekkie i mobilne.

Jako szkic zbioru zadań, które należało wykonać, aby osiągnąć założony cel, wyznaczono następujące punkty:

- analiza potrzeb osób niewidomych i słabowidzących dotycząca wspomagających urządzeń elektronicznych,
- analiza dostępnych urządzeń wspomagających osoby niewidome, ich zalety i wady,
- stworzenie metod uzyskiwania potrzebnych informacji z otoczenia w celu wykrycia przeszkód,
- stworzenie metod do wykrywania niebezpiecznych obiektów, dziur w nawierzchni oraz uskoków terenu,
- analiza dostępnych elementów i układów elektronicznych (w szczególności o niskim zużyciu energii), które mogą być użyte do produkcji urządzenia,
- zaprojektowanie, stworzenie prototypu oraz testy urządzenia do wykrywania i informowania o niebezpiecznych obiektach, dziurach w nawierzchni oraz uskokach terenu.

Postawiona teza rozprawy jest następująca: „Możliwe jest wykrywanie i informowanie o niebezpiecznych dla osób niewidomych obiektach, w szczególności dziur na drodze i obiektów na wysokości głowy, używając intuicyjnego i łatwego w obsłudze elektronicznego mobilnego systemu, podczas chodu osoby niewidomej ” (ang. ‘It is possible to detect and inform about hazardous obstacles for blind people, in particular road holes and head level objects, using user-friendly electronic mobile system, when a blind person is walking’).

Bezpieczeństwo osób niewidomych i elektroniczne urządzenia wspomagające

Poprzez analogię można powiedzieć, że oczy jako czujnik dostarczają wiele informacji, które są następnie przetwarzane przez jednostkę centralną – mózg. Dużo informacji o otoczeniu, zwłaszcza w miastach, przekazywana jest przez zmysł wzroku: znaki drogowe, sygnalizacja świetlna, banery, nazwy ulic. Człowiek mając te informacje jest w stanie bezpiecznie przemieszczać się pomiędzy lokacjami i oszacować odległość od interesującego go przedmiotu. Choć osoby niewidome za pomocą słuchu są w stanie odebrać dużo informacji (sygnalizacja głosowa na przejściu dla pieszych, nadjeżdżające samochody, echo laski), są one niewystarczające, aby zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa podczas poruszania się.

Według Światowej Organizacji Zdrowia przyczyny utraty wzroku to [1]:

- zaćma (47,8%),
- jaskra (12,3%),
- zwyrodnienie plamki żółtej związane z wiekiem (8,7%),
- zwyrodnienie rogówki (5,1%),
- retinopatia cukrzycowa (4,8%),
- dziecięca ślepota (3,9%),
- jaglica (3,6%),
- ślepota rzeczna (0,8%),
- inne (13%).

Utrata wzroku w wyniku choroby występuje najczęściej w krajach rozwijających się. Dodatkowo, oprócz chorób, często przyczyną utraty wzroku jest wypadek.

Jednak, bez względu na miejsce zamieszkania osoby niewidomej, biorąc pod uwagę kwestie bezpieczeństwa, środowisko w którym przebywa osoba niewidoma można podzielić na: wewnątrz budynków i na zewnątrz budynków. Ludzie niewidomi czują się bezpieczniej w lokalizacjach, których topografię już znają (dom, praca, szkoła, sklepy). Poruszają się tam pewniej i szybciej. Zmiany topograficzne w takich miejscach są rzadkie, a zatem zmniejszone jest ryzyko potrącenia, potknięcia czy innego wypadku. Z kolei na zewnątrz budynków dokonuje się ciągła zmiana otoczenia i obiektów. Ruch samochodowy, piesi, zmienne warunki pogodowe, roboty drogowe – wszystkie te czynniki są potencjalnym zagrożeniem dla osób bez zmysłu wzroku i mogą prowadzić do wypadku lub nawet śmierci. Dodatkowo, podczas rozmów z osobami niewidomymi wyszło na jaw, iż często osoby niewidome są napadane i zabierane są rzeczy osobiste takie jak telefon komórkowy czy laptop. Agresorzy są bardziej pewni siebie w takich sytuacjach, ponieważ zmniejszone jest ryzyko ich rozpoznania.

Pomimo wymienionych niebezpieczeństw i ich skutków, osoby niewidome nadal aktywnie chcą uczestniczyć w życiu społecznym oraz poruszać się pomiędzy lokacjami. Dodatkowo, chcą być niezależni tak, jak to tylko możliwe i nie być postrzegani jako wyrzutkowie społeczeństwa i ludzie zamknięci w czterech ścianach swojego domu. Dlatego bardzo chętnie testują i korzystają z wszelkich udogodnień elektronicznych, które mogą poprawić ich bezpieczeństwo. Są jednak bardzo krytyczni i bezkompromisowi.

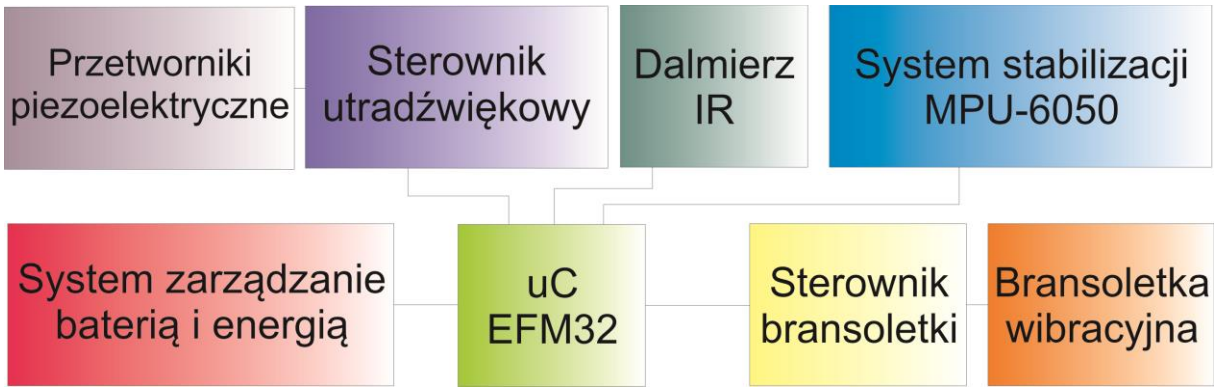
Podczas rozmów o bezpieczeństwie w codziennych sytuacjach podkreślone zostało, że najczęstszą przyczyną urazów osób niewidomych są zderzenia z obiektami lub innymi ludźmi oraz potknięcia i upadki spowodowane przeszkodami leżącymi na drodze osoby niewidomej lub dziury i uskoki terenu – w szczególności w miejscach, w których osoba niewidoma jest pierwszy raz. Dlatego osoby niewidome ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Osób Niewidomych i Słabowidzących w Krakowie bardzo pozytywnie i entuzjastycznie odniosły się do pomysłu na stworzenie urządzenia, które pomogłoby im w unikaniu wspomnianych sytuacji.

W literaturze istnieje podział urządzeń elektronicznych dla osób niewidomych na trzy grupy [2]:

- *Electronic Travel Aids (ETAs)* – są to urządzenia zbierające i przetwarzające dane z najbliższego otoczenia osoby niewidomej po to, aby następnie przekazać jej wskazówki niezbędne do bezpiecznego poruszania się w danym obszarze,
- *Electronic Orientation Aids (EOAs)* – są to urządzenia przekazujące wskazówki nawigacyjne osobie niewidomej, która chce dostać się z punku A do punktu B,
- Position Locator Devices (PLDs) – są to urządzenia korzystające z zewnętrznych infrastruktur systemów, które mogą posłużyć do lokalizacji (np. *GSM*, *GPS*, *WiFi*) przy pomocy cyfrowej mapy, umiejscowienia na niej użytkownika, a następnie nawigowaniu go na postawie wcześniej określonych punktów lokalizacyjnych i ścieżek po których może się poruszać.

Urządzenie do wykrywania dziur i uskoków oraz przeszkód na wysokości tułowia i głowy

Po wielu konsultacja z osobami niewidomymi i nauczycielami orientacji przestrzennej oraz wstępnymi wynikami testów różnych podsystemów opracowano prototyp urządzania do wykrywania i informowania o niebezpiecznych przeszkodach, w tym dziurach i uskokach w podłodze. Urządzenie przetestowano z udziałem osób niewidomych i słabo widzących ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Osób Niewidomych i Słabowidzących w Krakowie pod ścisłym nadzorem ich nauczycieli. Schemat blokowy prototypu został przedstawiony poniżej (**Rys. 1**).

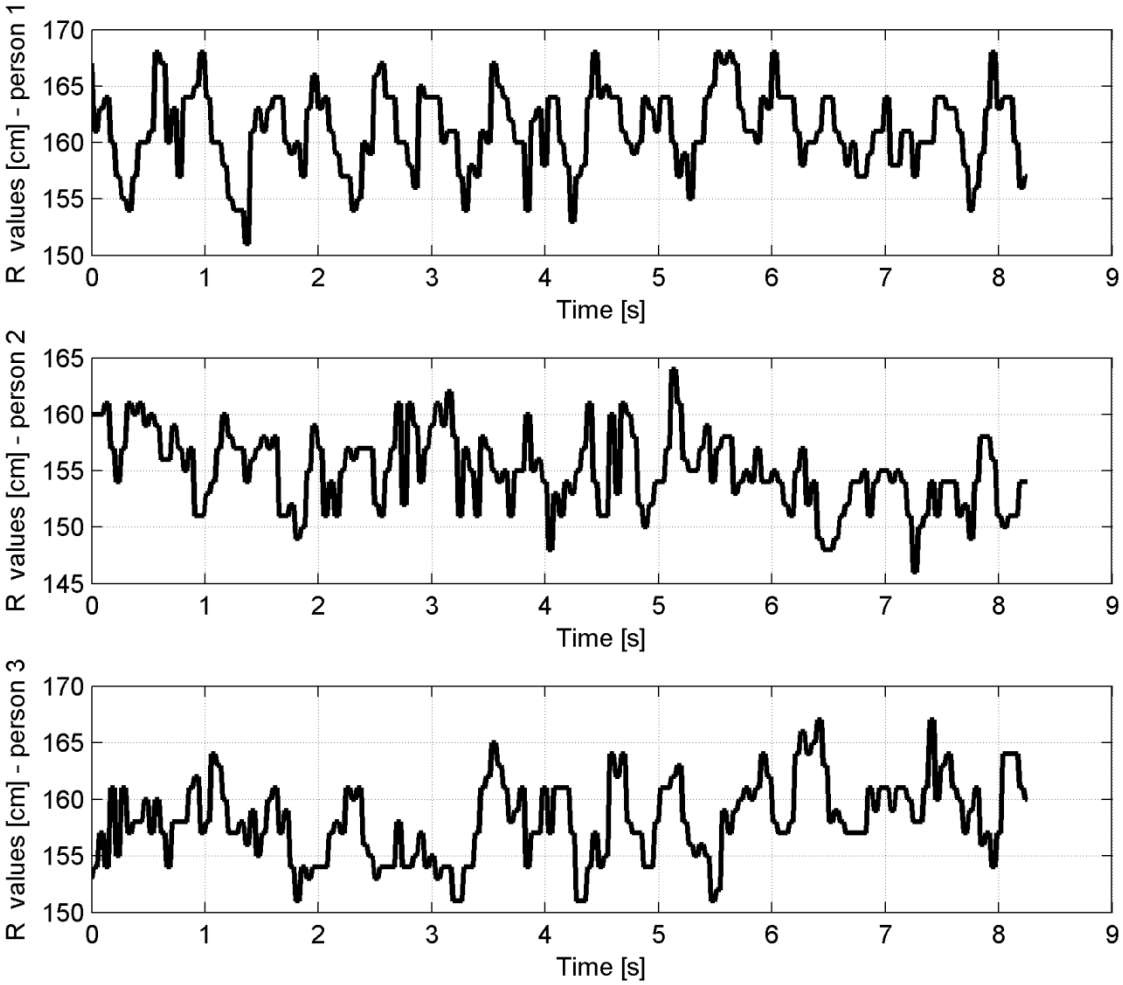


Rys 1. Schemat blokowy urządzenia do wykrywania uskoków terenu oraz niebezpiecznych przeszkód na wysokości głowy i tułowia

Do wykrywania uskoków terenu i dziur wybrano dalmierz firmy *Sharp*, jako rozwiązanie optymalne pod względem funkcjonalności, ceny oraz poboru energii i na nim oparty został podsystem do pomiaru kształtu drogi przed osobą niewidomą. Urządzenie jest noszone przez użytkownika na klatce piersiowej.

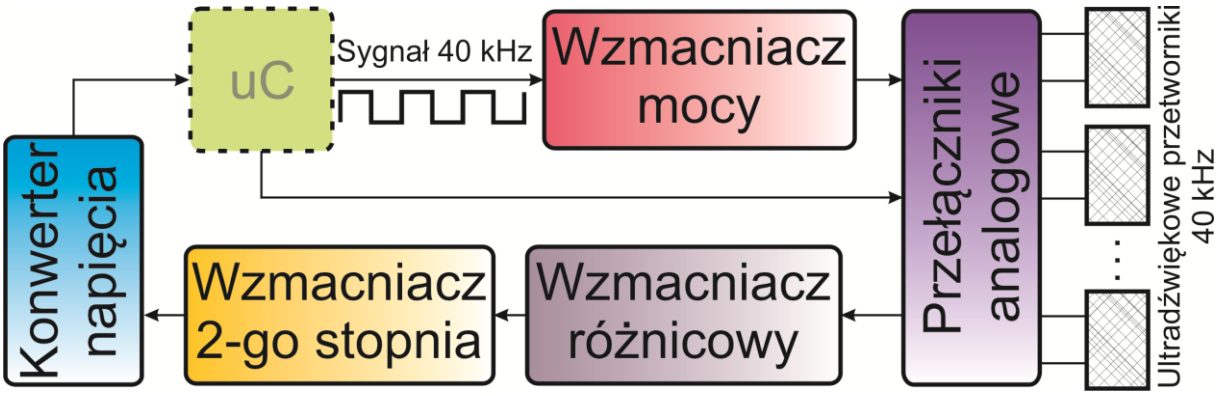
Już podczas pierwszych testów urządzenia podczas poruszania się użytkownika po prostym, płaskim odcinku drogi, zarysował się poważny problem stabilności pomiarów. Zmienne w czasie położenie dalmierza umieszczonego na klatce piersiowej osoby niewidomej uniemożliwiało uzyskiwanie powtarzalnych pomiarów, a co za tym idzie, niemożliwe było rozpoznanie i wykrywanie małych uskoków terenu na drodze osoby niewidomej. Wykresy pomiarów odległości (*R*) 3 osób przedstawione są poniżej (**Rys. 2**).

Do wykrywania przeszkód na wysokości głowy i tułowia zdecydowano się na zaprojektowanie i stworzenie wielokanałowego sterownika przetworników ultradźwiękowych w celu wykrywania ww. przeszkód [3]. Przeanalizowano możliwości detekcyjne przetworników ultradźwiękowych ogólnego zastosowania. Szczególną uwagę zwrócono na analizę sygnału powracającego do urządzenia, odbitego od przeszkody. Kilkumetrowa odległość z jakiej można znajdować przeszkody idealnie wpasowuje się w wymagania stawiane sterownikowi przez osoby niewidome. Jednak przetworniki okazały się bardzo wrażliwe na kąty nachylenia rozpoznawanych przeszkód [4], więc podczas projektowania urządzenia szczególną uwagę skupiono na rozmieszczeniu źródeł sygnału ultradźwiękowego.



Rys 2. Wykresy danych pomiarowych z dalmierza podczas poruszania się 3 osób

Potrzeba minimalizacji urządzenia końcowego sprawiła, że sterownik postanowiono zaprojektować w taki sposób, aby każdy przetwornik mógł pracować zarówno jako nadajnik, jak i odbiornik ultradźwięków. Powoduje to zmniejszenie o połowę potrzebnych do pracy czujników przy zachowaniu funkcjonalności. Schemat blokowy sterownika został przedstawiony poniżej (**Rys. 3**).



Rys 3. Schemat blokowy sterownika ultradźwiękowego

Do informowania o przeszkodach oraz przesyłania komend i innych informacji postanowiono stworzyć interfejs komunikacji dotykowej za pomocą wibracji. Z poprzednich doświadczeń oraz wyników badań naukowców wynikało, że osoby niewidome mają bardzo czułe dłonie oraz nadgarstki [5], zatem zdecydowano się na opracowanie wibrującej bransoletki. Jako element wibrujący użyto silniczka wibrującego stosowanego m.in. w telefonach komórkowych.

Początkowe testy pozwoliły na oszacowanie siły wibracji jaka jest potrzebna do sygnalizacji. Już po kilku sekundach użytkownik poprawnie reagował na wibracje i okazało się to dla nich bardzo naturalnym sposobem sygnalizacji. Jedna z osób niewidomych zasugerowała możliwość sprawdzenia sygnalizacji w dwóch silniczków zamontowanych na nadgarstku przeciwstawnie. Pozytywne wyniki takich testów doprowadziły do doświadczalnego sprawdzenia ile wibrujących sygnałów osoby niewidome są w stanie rozpoznawać. Prawie wszystkie osoby testujące bardzo szybko przyzwyczajały się i rozpoznawały 6 punktów wibracyjnych na nadgarstku, więc postanowiono skonstruować bransoletkę wibracyjną właśnie z taką ilością pobudzeń. W zależności od grubości ręki w nadgarstku zdarzało się testerom rozpoznawać tylko 4 punkty wibracyjne lub aż 8 punktów wibracyjnych.

W celu ułatwienia integracji z przyszłymi systemami oraz odciążenia docelowego mikrokontrolera opracowano specjalny sterownik bransoletki wibracyjnej. Oprócz możliwości jednoczesnego sterowania do 10 punktów wibracyjnych, sterownik posiada możliwość regulacji siły wibracji oraz kalibracji minimalnego i maksymalnego poziomu wibracji, która jest rozpoznawana przez użytkownika.

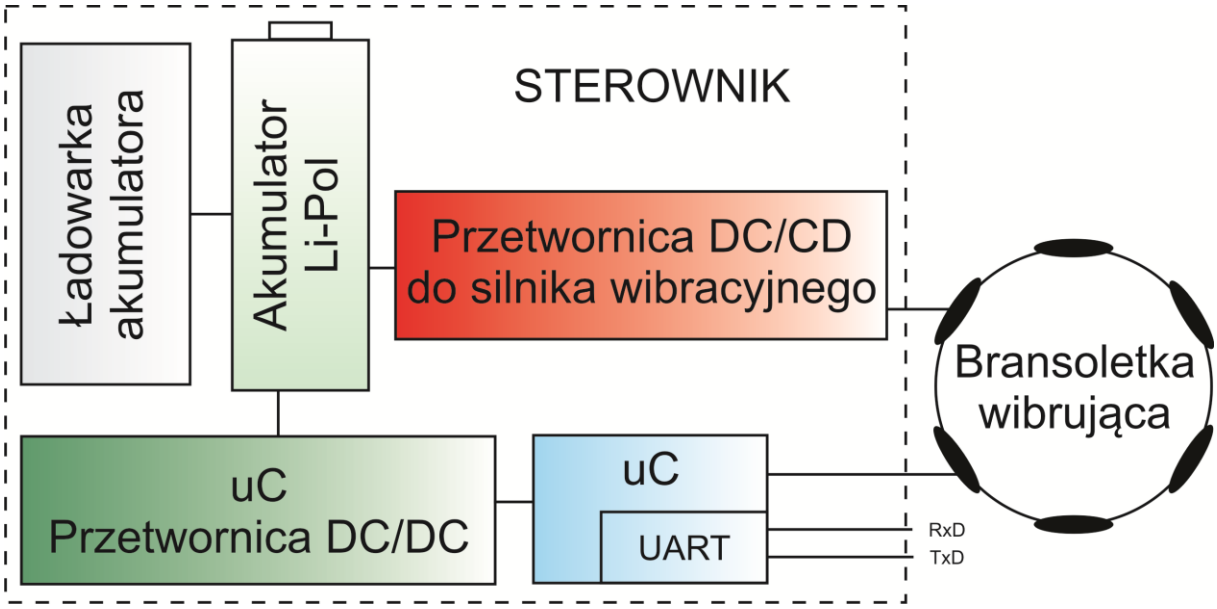
Osoby niewidome bardzo szybko przyzwyczajały się do nowego sposobu komunikacji i entuzjastycznie do niego podchodziły. Postanowiono sprawdzić możliwość przesyłania większej ilości komend oraz informacji. Zastosowano szereg wzorów wibracyjnych:

- wibracja pojedynczego punktu
- wibracja wielu punktów
- siła wibracji
- modulowana siła wibracyjna
- wibracja przemieszczająca się pomiędzy punktami
- jednopunktowa wibracja impulsami
- wielopunktowa wibracja wieloimpulsowa

Po zastosowaniu schematów wibracyjnych osoby niewidome nadal z dużą szybkością rozpoznawały poszczególne rodzaje sygnalizacji. Ponieważ nigdy wcześniej nie miały stycznością z tego typu sygnalizowaniem, potrzebna była faza nauczenia tych schematów i przypisania co oznaczają. W przyszłości możliwe jest opracowanie ustandaryzowanych schematów sygnalizacyjnych dla urządzeń nawigacyjnych oraz elektronicznych asystentów oraz procedury kalibracyjnej.

Osoby niewidome bardzo komfortowo czuły się z wibrującą bransoletką. Kilka z nich zasugerowało, że może to być przyczyną miejsca założenia bransoletki w miejscu którym noszą na co dzień zegarki. Dodatkowo, od wielu osób – również od nauczycieli – wyszedł pomysł, aby taki interfejs mógł służyć nie tylko do nawigowania. Może on być przydatny do innych powiadomień: gotująca się woda w garczku, informacja o wypełnieniu kubka, dzwonek do drzwi, alarm, informacje z komputera, etc. Prostota sterownika pozwoliłaby na integrację z paskami zegarkowymi tak, aby użytkownik nie musiał zakładać kolejnego urządzenia na rękę.

Schemat blokowy sterownika został przedstawiony poniżej (**Rys. 4**).



Rys 4. Schemat blokowy wielopunktowej bransoletki wibracyjnej

Algorytm stabilizacji

Po konsultacjach z osobami niewidomymi powstał pomysł umiejscowienia urządzenia w okolicach klatki piersiowej. Podyktowane było to potrzebą pozostawienia wolnych rąk oraz tym, że urządzenie zamontowane na tułowiu będzie narażone na mniejsze drgania niż gdyby było zamontowane na którejś z kończyn. W celu analizy charakteru ruchu człowieka podczas chodzenia zamontowany został akcelerometr oraz żyroskop przy dalmierzu w który wyposażone zostało urządzenia dla osób niewidomych. Po uwzględnieniu wpływu przyciągania ziemskiego uzyskane zostały wartości przyspieszenia podczas chodu w trzech osiach w formacie ziemskim (oś *z* prostopadła do powierzchni Ziemi). Analiza danych kilku przypadków chodu wykazała, że choć wartości przyspieszenia są indywidualne nie tylko dla każdej osoby, ale również znacznie różnią się podczas zmiany szybkości chodzenia oraz terenu po którym osoba niewidoma się porusza. Jednak dla wszystkich przypadków można zauważyć okresowy charakter zmian przyspieszenia. Dodatkowo, przedstawiona została analiza częstotliwościowa uzyskanych danych z akcelerometru i żyroskopu. Ponieważ na wartości pomiarów z dalmierza najbardziej wpływa zmiana pozycji dalmierza w osi *z*, postawiono za cel opracowanie algorytmu stabilizacji pomiarów właśnie w tej osi.

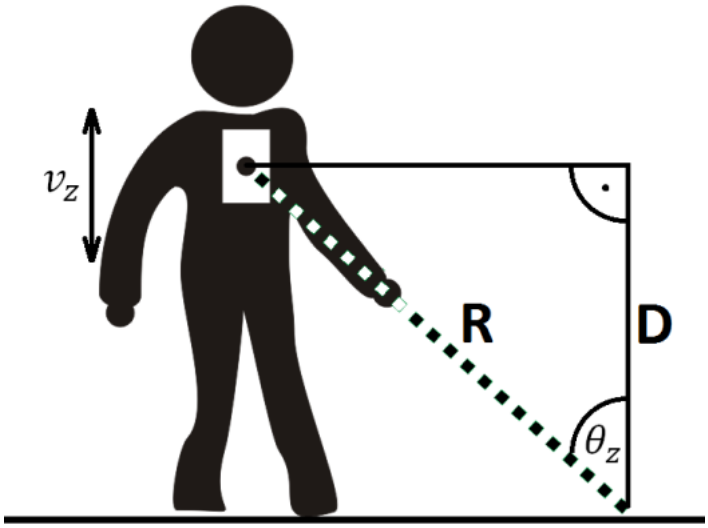
Przeanalizowano algorytmy tzw. nawigacji zliczeniowej, dzięki której za pomocą akcelerometru i żyroskopu (lub w innych przypadkach, np. obranego kursu i szybkości) oraz znanej pozycji początkowej możliwe jest wyznaczenie zmiany pozycji po pewnym czasie. W literaturze widnieje kilka przykładów śledzenia zmian położenia, np. stopy podczas chodu [6], jednak w przypadku ciągłego ruchu dalmierza umiejscowionego na wysokości klatki piersiowej użytkownika istotną rolę odgrywa błąd pomiarowy oraz dryft akcelerometru i żyroskopu. Zbyt duży błąd dyskwalifikuje użycie tej metody do filtracji ruchu dalmierza w projekcie.

Podczas poruszania się użytkownika, dalmierz zmienia swoją odległość od podłoża. W uproszczonym modelu odległość tą w czasie może reprezentować sinusoida w której zmienia się

częstotliwość oraz amplituda, jednak charakter wykresu pozostaje okresowy. Na każdy okres przypadają dwa punkty (minimum i maksimum wartości) w których prędkość w osi *z* wynosi 0. Podczas regularnego lub wolnozmiennego chodu różnica pomiędzy tymi dwoma punktami (wartościami) jest prawie stała. Punkty te nazwano punktami zerowej prędkości (*ZVP – zero velocity points*) mogą posłużyć do stabilizacji pomiarów dalmierza, a w konsekwencji zwiększyć wiarygodność wykrywania dziur i uskoków terenu.

Dysponując cyfrową informacją o przyspieszeniu w osi *z* w czasie, za pomocą metody trapezowej otrzymuje się wartości prędkości w osi *z*. W rozprawie przeanalizowano wyliczone dane na podstawie rzeczywistych pomiarów akcelerometrem i żyroskopem i zaobserwowano, iż błąd pomiarowy związany z dryftem bardzo szybko jest powielany w obliczeniach, co skutkuje ciągłym, dużym wzrostem prędkości. Analiza częstotliwościowa wartości prędkości w osi z pokazała, że jest możliwe odfiltrowanie tego efektu poprzez zastosowanie cyfrowego filtru – odfiltrowanie bardzo niskich częstotliwości. Po tym zabiegu otrzymane wartości prędkości w osi *z* oscylują wokół zera. Okresowość zmian prędkości sprawia, iż bardzo dobrze zadziałał filtr. Uzyskanie tego odfiltrowanego sygnału jest kluczowe dla poprawnego działania algorytmu filtracji pomiarów z dalmierza.

Opracowano 2-stopniowy algorytm filtracji. Zasadę jego działania można przedstawić za pomocą poniższego rysunku (**Rys. 5**).



Rys 5. Zasada 2-stopniowej stabilizacji pomiarów z dalmierza podczas chodu

Analiza ludzkiego chodu wskazała na dwa momenty, w których prędkość w osi *z* wynosi zero, tj. kiedy osoba jest w tej osi w najwyższym oraz najniższym punkcie. Te punkty o zerowej prędkości (*zero velocity points – ZVP*) mogą posłużyć do stabilizacji pomiarów z dalmierza.

Prędkość w osi *z* (v_z) może zostać wyliczona z przyspieszenia w osi *z* uzyskanego za pomocą akcelerometru (a_z).

$$v_z = \int a_z \mathrm{dt} \tag{1}$$

Prędkość może zostać obliczona jako pole powierzchni pod wykresem (2).

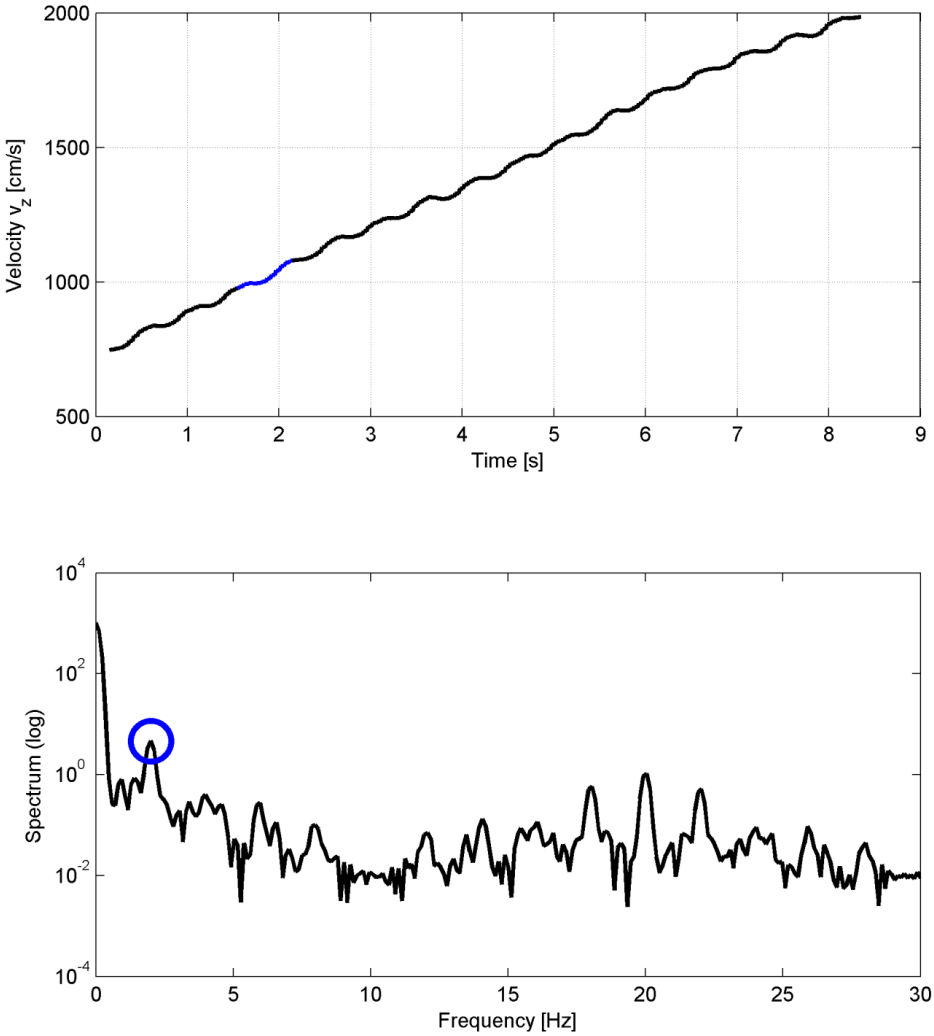
$$v_z = \int_a^b a_z \mathrm{dt} = \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} a_z[i] \cdot \Delta t \tag{2}$$

gdzie $\Delta t = \frac{b-a}{n}$.

Używając metody trapezowej i biorąc pod uwagę fakt, że wykres przyspieszenia może być rosnący i opadający, równanie (2) przyjmuje postać (3), gdzie *i* jest liczbą całkowitą (*i ≥ 0*) – numerem kolejnej próbki.

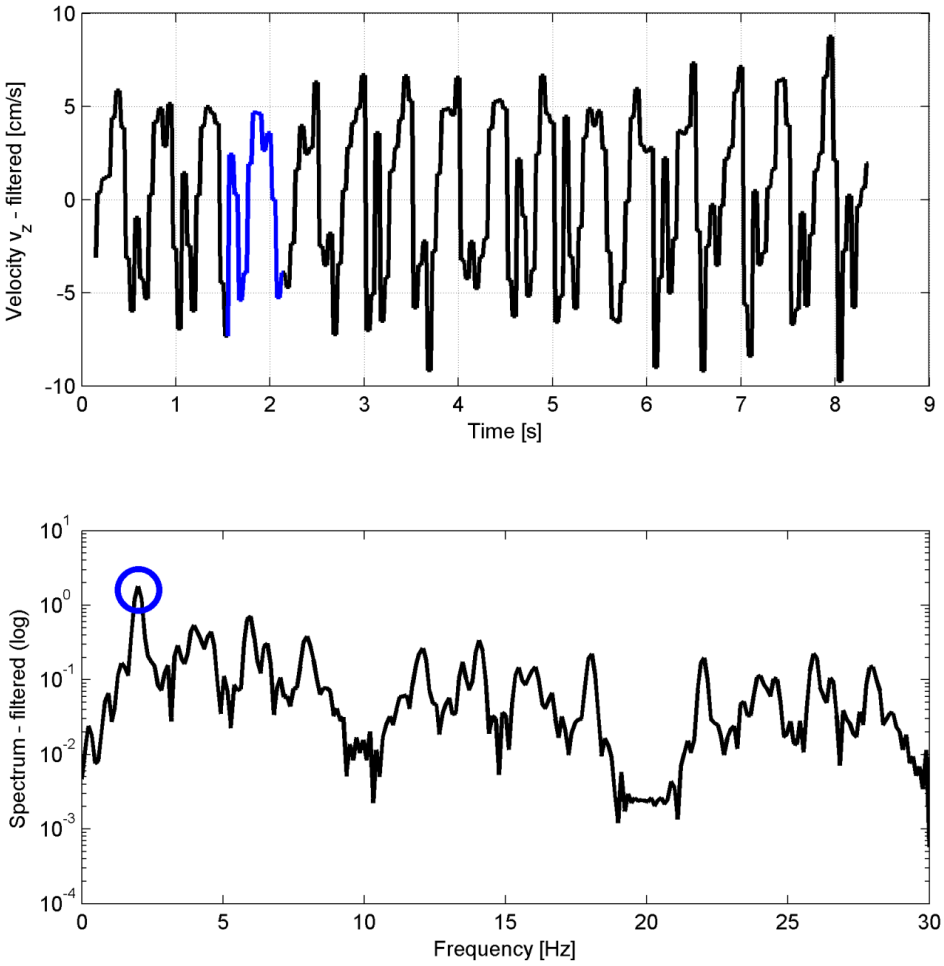
$$v_z[i+1] = v_z[i] + (a_z[i] + \left|\frac{a_z[i+1]-a_z[i]}{2}\right|) \cdot \Delta t \tag{3}$$

Na **Rys. 6** został przedstawiony wykres prędkości w osi *z* (v_z) otrzymany z rzeczywistych danych przyspieszenia (a_z) podczas testów urządzenia oraz jego widmo. Dane zawierają również dryft i błąd akcelerometru i żyroskopu.



Rys 6. Wykresy prędkości w osi *z* oraz widma częstotliwościowego

Do usunięcia dryftu został użyty filtr cyfrowy. Dane po filtracji ($v_{z\,FILTERED}$) zostały przedstawione na **Rys. 7**.



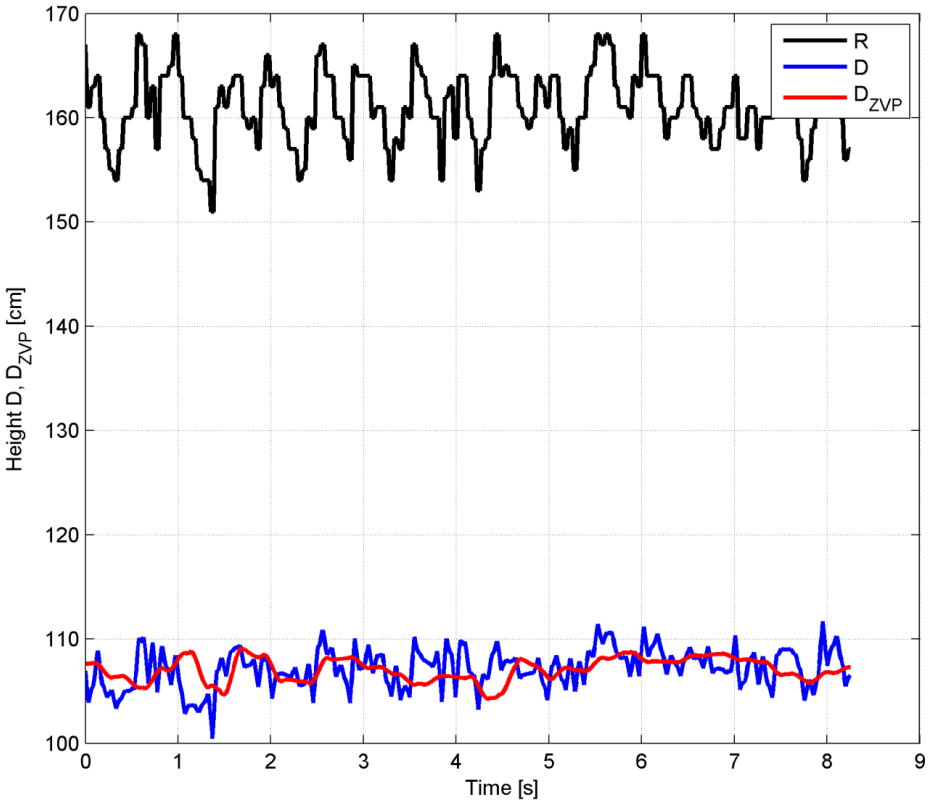
Rys 7. Wykresy prędkości w osi *z* po filtracji oraz widma częstotliwościowego

Stosując filtr Kalmana [7] dla danych z akcelerometru i żyroskopu, możliwe jest wyliczenie kąta nachylenia θ_z dla próbek w czasie rzewywistym podczas chodu. Kąt ten jest potrzebny do uzyskania wartości *D* (4).

$$D[i] = R[i] \cdot cos(\theta_z[i]) \tag{4}$$

Wartości *D* reprezentują odległość pomiędzy urządzeniem, a drogą po której osoba niewidoma porusza się. Zakładając poprawną filtrację pomiarów podczas chodu po prostej nawierzchni wartość *D* powinna być stała w czasie, a natrafienie wiązką dalmierza na uskok lub podwyższenie, wartość *D* powinna się odpowiednio zmienić.

Na **Rys. 8** zostały przedstawione pomiary z dalmierza *R* oraz wyniki uzyskane po pierwszym *(*D*)* i drugim stopniu filtracji *(*$\mathrm{D_{ZVP}}$*)*.



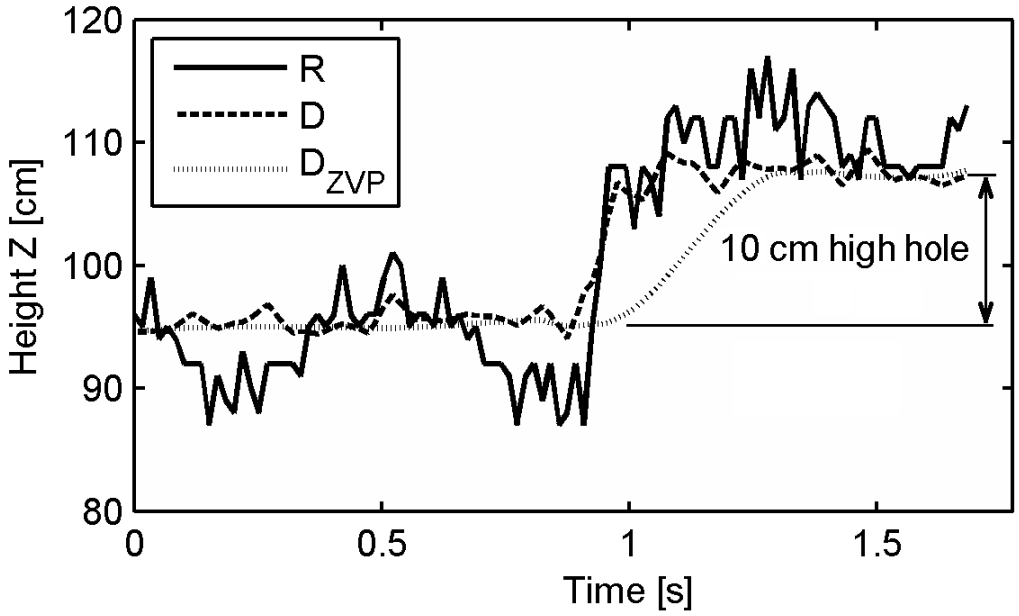
Rys 8. Wykresy pomiarów z dalmierza (*R*) oraz wyniki uzyskane po pierwszym (D) i drugim stopniu filtracji (D_{ZVP})

Testy z udziałem osób niewidomych

Prototyp testowało 8 osób niewidomych oraz 1 osoba słabo widząca. Zgodnie z pomysłem nauczycieli pierwsze spotkanie było spotkaniem informacyjnym. Dzieci zostały zapoznane z urządzeniem, mogły go sobie dotknąć, zaznajomić się z jego formą i strukturą. Następnie objaśniono zasadę działania oraz do czego ma służyć. Wszystkie dzieci założyły urządzenie po raz pierwszy.

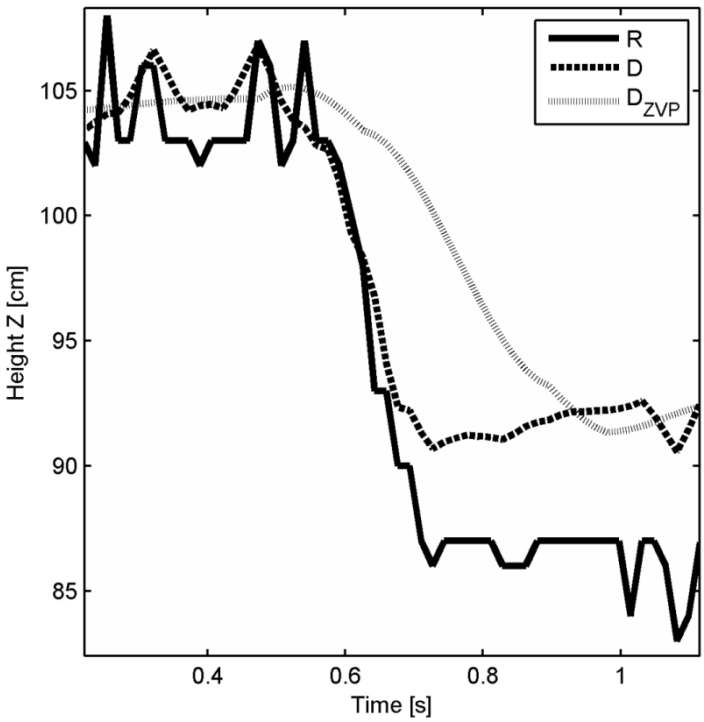
Drugie spotkanie miało na celu zaznajomienie dzieci z bransoletką wibracyjną oraz schematami wibracyjnymi, które będą używane. Po zakończeniu fazy szkolenia rozpoczęto testy, które miały na celu rozpoznawanie niebezpiecznych obiektów występujących na co dzień.

Pierwszym testem było wykrycie i zatrzymanie się przez uskokiem terenu o głębokości 10 cm symulowanym przez kartonowe pudełka. Początkowo dzieci poruszały się bardzo powoli i nieufnie, ale każde z nich poprawnie zareagowało na sygnalizację wykrytego uskoku terenu. Niektóre dane pomiarowe z testów zostały przestawione w rozprawie w postaci pomiarów z dalmierza oraz danych wynikowych po przetworzeniu przez algorytm stabilizujący. Dodatkowo, przetestowano inne głębokości uskoków: 7 cm i 13 cm. Wykres z testów urządzenia na 10 cm uskoku zostały przedstawione na **Rys. 9**.



Rys 9. Wykresy pomiarów z dalmierza (*R)* oraz wyniki uzyskane po pierwszym *(*D*)* i drugim stopniu filtracji *(*$\mathrm{D_{ZVP}}$*)* podczas testu wykrycia 10 cm uskoku

Następnym testem było wykrycie i zasygnalizowanie przeszkody leżącej na podłodze – w tym przypadku pudełka o wysokości 13 cm (**Rys. 10**). Wszystkie dzieci poprawnie zareagowały na przeszkodę. Dodatkowo, przetestowano również większą i bardziej nieregularną przeszkodę – drewniane krzesło szkolne. Pod koniec tego etapu testów zauważono, że dzieci coraz pewniej poruszają się z prototypem urządzenia.



Rys 10. Wykresy pomiarów z dalmierza (*R)* oraz wyniki uzyskane po pierwszym *(*D*)* i drugim stopniu filtracji *(*$\mathrm{D_{ZVP}}$*)* podczas testu wykrycia 13 cm podwyższenia

Kolejnym scenariuszem testowym było wykrywanie schodów w górę oraz w dół (**Rys. 11**). Na tym etapie cały czas blisko asystowały nauczycielki, aby zapewnić dzieciom bezpieczeństwo. Wszystkie dzieci za pierwszym razem rozpoznawały schody i bezpiecznie przez nie przechodziły. Choć nie przetestowano tego z udziałem dzieci, w urządzeniu istnieje możliwość rozpoznawania ilości schodów i zasygnalizowania ich końca. Dane pracy tego algorytmu zostały w rozprawie przedstawione.

Rys 11. Osoba niewidoma podczas testów wykrywania schodów w dół

Dodatkowo, przeprowadzono test na orientację przestrzenną. Dzieci miały chodzić po korytarzu i określać odległość od ścian oraz innych osób za pomocą wibracji. Wprowadzono również elementy ruchome w postaci poruszających się osób. Dzieci były w stanie bezpiecznie nawigować pomiędzy ścianami i przeszkodami. Interesującym i niezamierzonym rezultatem tych testów było

znajdowanie w korytach otwartych drzwi i automatyczna sygnalizacja tego faktu przez dzieci i młodzież.

Podsumowanie

W rozprawie został przedstawiony pomysł, realizacja oraz testy urządzenia wspomagającego osoby niewidome, co jest bardzo ważne nie tylko z technicznego, ale i humanitarnego punktu widzenia. Przegląd literatury wraz z konsultacjami z dziećmi i nauczycielami ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Osób Niewidomych i Słabowidzących w Krakowie oraz poprzednie doświadczenia w tej dziedzinie pozwoliły na stworzenie urządzenia do wykrywania i informowania o niebezpiecznych przeszkodach, w tym dziurach i uskokach terenu. Wszystkie podsystemu zostały zaprojektowane w sposób, aby zminimalizować zużycie energii, koszt końcowy urządzenia i przede wszystkich, aby zapewnić komfort użytkownikom.

Analiza istniejących rozwiązań wykazała, że nie spełniają one potrzeb osób niewidomych. Opracowane urządzenie do wykrywania dziur i uskoków terenu wykorzystuje dalmierz na podczerwień w celu wyznaczenia odległości pomiędzy urządzeniem, a poziomem drogi. Dla zapewnienia wykrycia nawet małych, kilkucentymetrowych uskoków, niezbędne okazało się opracowania systemu stabilizacji drgań spowodowanych chodem użytkownika urządzenia. Zaproponowano unikalny, dwustopniowy algorytm stabilizacyjny oparty na punktach zerowej prędkości (*Zero Velocity Points – ZVP*), wykorzystujący akcelerometr, żyroskop oraz filtr Kalmana i zaimplementowano algorytm pozwalający na wykrywanie małych uskoków terenu, schodów, itd., niezależnie od wzrostu osoby niewidomej oraz różnic w sposobie chodzenia.

Drugim kluczowym elementem urządzenia jest wielokanałowy dalmierz ultradźwiękowy, opracowany i zastosowany w celu wykrywania obiektów znajdujących się na wysokości klatki piersiowej i głowy osoby niewidomej. Dla zminiaturyzowania urządzenia końcowego tor przetwarzania sygnałów zaprojektowano tak, aby jeden czujnik był zarówno nadajnikiem, jak i odbiornikiem ultradźwięków. Zwiększenie prawdopodobieństwa wykrycia przeszkód, których powierzchnia nachylona jest pod dużym kątem w stosunku do kierunku poruszania się użytkownika systemu uzyskano dzięki zastosowaniu wielu kanałów źródła ultradźwięków.

Opracowano i wykonano 6-punktową bransoletkę wibracyjną jako element sygnalizujący o wykrytych przeszkodach i zagrożeniach, ich rodzajach i odległości od nich, dzięki temu możliwe jest przekazywanie wielu informacji o otoczeniu i przeszkodach przy użyciu kilku kodów wibracyjnych i co ważne przy braku ingerencji w zmysł słuchu (bardzo istotne podczas poruszania się osoby niewidomej na zewnątrz budynku).

System przetestowano z udziałem osób niewidomych i słabowidzących pod nadzorem nauczycieli ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Osób Niewidomych i Słabowidzących w Krakowie, którzy uczestniczyli również w opracowywaniu scenariuszy testowych oraz doradzali jakie przeszkody z życia codziennego należy uwzględnić. Oprócz pozytywnego wykrywania przeszkód i odpowiedniej reakcji na nie, osoby niewidome dochodziły do interesujących wniosków i nowych zastosowań, np. wykrycie otwartych drzwi czy „wyczuwanie” odległości. Testerzy zwracali również uwagę, że urządzenie w użytkowaniu jest bardzo łatwe i intuicyjne.

Za pomocą opracowanego urządzenia osoby niewidome z powodzeniem wykrywały różne przeszkody, takie jak: dziury, schody, ściany, poruszające się osoby, etc.

Teza rozprawy: „Możliwe jest wykrywanie i informowanie o niebezpiecznych dla osób niewidomych obiektach, w szczególności dziur na drodze i obiektów na wysokości głowy, używając intuicyjnego i łatwego w obsłudze elektronicznego mobilnego systemu, podczas chodu osoby niewidomej ” (ang. ‘It is possible to detect and inform about hazardous obstacles for blind people, in particular road holes and head level objects, using user-friendly electronic mobile system, when a blind person is walking’) – została udowodniona.

Bibliografia

[1] Resnikoff, Serge, et al. "Global data on visual impairment in the year 2002." Bulletin of the World Health Organization 82.11 (2004): 844-851.

[2] Dakopoulos, Dimitrios, and Nikolaos G. Bourbakis. "Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: a survey." Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on 40.1 (2010): 25-35.

[3] Gelmuda, Wojciech, and A. Kos. "Multichannel ultrasonic range finder for blind people navigation." Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences; ISSN 0239-7528. — 2013 vol. 61 no. 3, s. 633–637.

[4] Gelmuda, Wojciech, and A. Kos. "Piezoelectric ultrasonic sensors detection capabilities." Proc. Electrotechnical Institute 57.246 (2010): 133-141.

[5] Bogusz, E., G. Mrozik, and E. Skrodzka. "Investigation of Vibratory Detection Thresholds on Proximal Phalange and Wrist in Blind and Visually Impaired Teenagers." Acta Physica Polonica-Series A General Physics 121.1 (2012): A19.

[6] Madgwick, Sebastian OH, Andrew JL Harrison, and Ravi Vaidyanathan. "Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm." Rehabilitation Robotics (ICORR), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.

[7] Bishop, Gary, and Greg Welch. "An introduction to the kalman filter." Proc of SIGGRAPH, Course 8 (2001): 27599-3175.

Wybrane publikacje powstałe w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej

[A] Gelmuda, Wojciech, et al. "Electronic Aid System For Blind People." Electronics World 120.1938 (2014), [IF].

[B] Gelmuda, W., and A. Kos. "GPS and GSM based points of interest localization system for blind people." ICWN 2013: proceedings of the 2013 International Conference on Wireless Networks, ISBN10: 1-60132-250-X.

[C] Gelmuda, W., and A. Kos. "Multichannel ultrasonic range finder for blind people navigation." Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences 61.3 (2013): 633-637, [IF].

[D] Gelmuda, Wojciech, and Andrzej Kos. "Designing Low-Power Embedded Systems." Electronics World 118.1915 (2012): 18-20, [IF].

[E] Gelmuda, W., and A. Kos. "Device for road holes and obstacles detection." Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 53.1 (2012): 19-21.

[F] Gelmuda, W., and A. Kos. "Electronic aids for blind people-overview." Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska (2012): 46-49.

[G] Gelmuda, Wojciech, and A. Kos. "Vibrating bracelet interface for blind people." Proc. Electrotechnical Institute 59.260 (2012): 199-206.

[H] Boroń, K., W. Gelmuda, and A. Kos. "Mobile Safety System for the Blind." Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 52.3 (2011): 79-81.

[I] Gelmuda, Wojciech, and Andrzej Kos. "Photovoltaic power supply for embedded systems." Electronics World 117.1903 (2011): 16-19, [IF].

[J] Gelmuda, Wojciech, and A. Kos. "Piezoelectric ultrasonic sensors detection capabilities." Proc. Electrotechnical Institute 57.246 (2010): 133-141.

[K] Kos, A., and W. Gelmuda. "Ultrasonic white stick for detecting holes for blind people." Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 51.10 (2010): 141-143.

[L] Gelmuda, Wojciech. "Zasilacz urządzeń mobilnych: zasilacz z akumulatorem Li-Po i wbudowaną ładowarką." Elektronika Praktyczna nr 11 (2012): 22-24.