

## Mobilny system wspomagający naukę geografii dla osób z niepełnosprawnością wzroku

**Streszczenie.** W komunikacie opisano uniwersalny system pozwalający na udźwiękowianie map hipsometrycznych. System składa się z dwóch aplikacji. Aplikacja dla komputerów klasy PC pomaga widzącym użytkownikom przygotować mapę dla aplikacji mobilnej. Dzięki niej można opracować legendę, wskazać lokalizację miast i rzek. Aplikacja mobilna jest skierowana do użytkowników niewidomych i słabowidzących. Zadaniem aplikacji jest prezentacja map hipsometrycznych, wstępnie przetworzonych w aplikacji komputerowej, za pomocą dźwięku o różnych częstotliwościach, zależnych od wysokości nad poziomem morza wskazywanego przez użytkownika obszaru. Dodatkowo syntezytor mowy jest wykorzystany do informowania o położeniu miast i rzek. Użytkownik może również poznać odległość między wskazanymi miastami. Aplikacja uzyskała pozytywne oceny od osób ją testujących.

**Abstract.** The paper addresses the problem of presenting visual information from hipsometric maps by using a dedicated sonification method. The system consists of two applications. The desktop application assists the sighted user in preparing the map. It helps creating map-related data like map legend and location of cities and rivers and preprocesses the image. The mobile application is dedicated to persons with visual impairments. This application communicates to the blind user the graphical map data by using auditory representations. Sounds of different frequencies inform about elevation changes of the terrain and speech synthesis is used to announce names of the cities, distances between cities and river names. The mobile application was tested by blindfolded users and received a positive feedback. (**Mobile system aiding teaching of geography to persons with visual impairments**).

**Słowa kluczowe:** interaktywna sonifikacja, substytucja sensoryczna, Android, osoby niewidome, mapy hipsometryczne

**Keywords:** interactive sonification, sensory substitution, Android, blind persons, hipsometric maps

### Wprowadzenie

Prezentacja informacji graficznej osobom słabowidzącym i niewidomym to zadanie wymagające opracowania sposobu przekazania informacji wizualnej w sposób dostępny innym zmysłom, głównie dotyku oraz słuchu [1]. W pierwszym przypadku stosuje się wydruki wypukłe lub elementy, które są typowo płaskie (np. mapy, schematy), wzbogacone o trzeci wymiar. Wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania drogiego, specjalistycznego sprzętu, takiego jak drukarki brajlowskie oraz konieczność dostosowania prezentowanego obrazu do ograniczeń technologicznych podczas przygotowania formy wypukłej. Możliwość skorzystania ze zmysłów słuchu wydaje się być rozwiązaniem dającym znacznie większe możliwości prezentacyjne obrazów, jednak od docelowej grupy użytkowników niejednokrotnie wymaga ono długiego treningu [2]. Prezentacja informacji graficznej z wykorzystaniem niewerbalnych dźwięków określa się mianem sonifikacji. Na uwagę zasługuje specyficzna forma sonifikacji, zwana interaktywną sonifikacją [3], wprowadzająca możliwość interakcji użytkownika z systemem dźwiękowej prezentacji.

Metody niewizualnej prezentacji obrazów osobom niewidomym można podzielić na dwie podstawowe metody. Pierwszą z nich są systemy interpretujące obrazy należące do dowolnej klasy, niezależnie od ich treści [2, 4]. W tych systemach zadanie poprawnej interpretacji dźwięków spoczywa na użytkowniku. Druga grupa metod polega na przygotowaniu metod udźwiękowiania dedykowanego konkretnym klasom obrazów. Rozwiązania należące do tej grupy są znacznie łatwiejsze do interpretacji, jednak wymagają opracowania metody sonifikacji dla każdej klasy. Przykładem rozwiązań należących do tej grupy może być aplikacja udźwiękowiająca wykresy funkcji [5] lub metoda prezentacji map hipsometrycznych, którą opisano w niniejszym referacie.

Podstawowymi narzędziami obecnie wykorzystywanymi w procesie edukacji uczniów słabowidzących i niewidomych z zakresu geografii są wydruki wykonywane na tzw. puchnącym papierze z drukarki brajlowskiej oraz mapy i globusy dotykowe (wypukłe). Dostępne są także specjalne urządzenia, zaliczane do grupy tzw. interaktywnych map.

Przykładem może być interaktywna mapa Stanów Zjednoczonych (Interactive U.S. Map with Talking Tactile Pen). Użytkownik wskazuje wybrany obszar za pomocą specjalnego, mówiącego długopisu. W urządzeniu zawarto wiele warstw informacyjnych: np. nazwy stanów, największe miasta, główne rzeki, ciekawostki [6]. Wadą urządzenia jest jego wysoka cena oraz bardzo ograniczone możliwości rozszerzenia informacji np. o nowe mapy.

Gwałtowny rozwój urządzeń przenośnych powoduje, że stają się one platformą, która może znaleźć zastosowanie w edukacji dzieci słabowidzących i niewidomych. Aplikacje dla urządzeń mobilnych wspomagające naukę na poziomie podstawowym tworzą alternatywę dla dedykowanych, często bardzo kosztownych, pomocy naukowych opracowanych dla osób z niepełnosprawnością wzroku. Dodatkową zaletą takich aplikacji jest możliwość ich uruchamiania i korzystania z nich w dowolnym miejscu, np. w domu ucznia. Takie rozwiązanie daje narzędzie wspomagające samodzielny proces uczenia [7]. Wymienione wyżej powody spowodowały, że podjęto decyzję o wykorzystaniu urządzenia mobilnego jako platformy do implementacji algorytmów sonifikacji wybranej klasy obrazów jaką są mapy hipsometryczne.

### Metoda udźwiękowania map hipsometrycznych

Podstawowym trybem pracy aplikacji mobilnej jest udźwiękowanie danych o wysokości bezwzględnej odczytanej z mapy hipsometrycznej. Aby uniknąć częstych, nieprzyjemnych dla ucha zmian częstotliwości odtwarzanego dźwięku, wartość odczytanego punktu mapy jest uśredniana z otoczenia o założonym promieniu. Dotknięcie w dowolnym punkcie mapy powoduje wygenerowanie dźwięku  $s_i$ :

$$(1) \quad s_i(t) = a_i \sin(2\pi f_i t)$$

o amplitudzie  $a_i$  i częstotliwości  $f_i$  przypisanej do danego przedziału wysokości nad poziomem morza (n.p.m.). Przypisanie to odbywa się w aplikacji mobilnej na podstawie danych z legendy mapy zdefiniowanych z wykorzystaniem aplikacji konfiguracyjnej (rys.2). Wartość częstotliwości  $f_i$  dla

$i$ -tego przedziału wysokości z legendy mapy jest wyznaczana według zależności:

$$(2) \quad f_i = f_{\min} + i \frac{f_{\max} - f_{\min}}{N - 1}$$

gdzie:  $i \in [0, N)$  a  $N$  to liczba zdefiniowanych wartości wysokości w legendzie mapy.

Średnia wartość składowej RGB z obszaru zainteresowania jest porównywana z wartościami kolorów występującego w legendzie mapy. Wysokość bezwzględna pochodząca z legendy jest wyznaczana z warunku minimalnej odległości składowych R, G, B wskazanego punktu od wartości w legendzie. Dzięki temu rozwiązaniu można skorzystać z map hipsometrycznych pochodzących z różnych źródeł, różniących się paletą kolorów wykorzystaną do zakodowania wysokości n.p.m.

W prototypowej wersji aplikacji zaproponowano wykorzystanie dźwięków z zakresu częstotliwości 300–500 Hz. Wskazany zakres wynika z subiektywnej oceny tych dźwięków jako przyjemnych dla ucha oraz z ograniczonych możliwości odtwarzania dźwięków przez głośniczki urządzeń przenośnych.

Drugim trybem pracy jest informowanie użytkownika o nazwach miast oraz rzek zdefiniowanych w programie konfiguracyjnym. Wskazanie dotykaniem obszaru przypisanego miastu, zamiast dźwięku opisującego wysokość n.p.m., powoduje odczytanie nazwy miasta. Podobny sposób wykorzystano do przekazania informacji o rzekach: wskazanie linii rzeki powoduje odczytanie nazwy rzeki oraz odtworzenie dźwięku o częstotliwości przypisanej warstwie rzek, tj. 600 Hz. Należy zaznaczyć, że nazwa rzeki podczas przemieszczenia palca po mapie odczytywana jest tylko raz; takie rozwiązanie powoduje, że użytkownik ma możliwość zapoznania się z położeniem rzeki i kształtem jej koryta. Ponowne odczytanie nazwy rzeki jest możliwe tylko wtedy, jeśli użytkownik podczas przemieszczania palca po mapie napotka rzekę o innej nazwie.

Dodatkowym elementem zaimplementowanym w programie jest możliwość wyznaczenia odległości pomiędzy dwoma miastami. Aby odczytać odległość pomiędzy wskazanymi miastami należy najpierw zlokalizować jedno z nich a następnie, innym palcem, wskazać drugie miasto (rys. 1).



Rys. 1. Interfejs graficzny aplikacji mobilnej: wyznaczenie odległości między dwoma miastami (Poznań, Rzeszów). Mapa wykorzystana w aplikacji pochodzi z serwisu Wikipedia [8]

### Budowa systemu wspomagającego naukę geografii

Opracowany system składa się z dwóch aplikacji: mobilnej, przeznaczonej dla docelowych użytkowników oraz aplikacji pomocniczej służącej do przygotowania danych,

które są wykorzystywane w aplikacji mobilnej. Zdecydowano, że w wersji prototypowej aplikacja pomocnicza powinna umożliwić dodanie miast oraz rzek do warstwy informacyjnej mapy oraz przetworzyć plik zawierający mapę do formatu akceptowalnego przez aplikację mobilną. Aplikacja pomocnicza została napisana w języku Java i jest przeznaczona dla osób widzących. Dzięki niej istnieje możliwość przygotowania nowych map wzbogaconych o warstwy rzek i miast.

Legend	Cities	Rivers	Legend	Cities	Rivers	Legend	Cities	Rivers	
elevation	red	green	blue	name	x	y	detailed	latitude	longitude
100	139	167	124	Łódź	120	117	false	51.7932...	19.4238...
200	180	201	124	Warszawa	164	99	false	52.2296...	21.0122...
300	219	231	122	Zygmunt	118	104	true	51.0550...	19.4000...
400	255	249	118						
500	282	218	113						

Rys. 2. Interfejs graficzny aplikacji pomocniczej. tabele zawierają: powiązanie wysokości z kolorem legendy, miasta oraz rzeki

Aplikacja mobilna została napisana w języku Java i jest przeznaczona dla systemu operacyjnego Android. Do generowania dźwięku wykorzystano klasę *AudioTrack*, do udźwiękowienia w postaci komunikatów – klasę *TextToSpeech* i wbudowany w system operacyjny mechanizm syntezy mowy.

### Testy aplikacji mobilnej do nauki geografii

Prototypowa wersja aplikacji została poddana tzw. testom empatycznym przez trzech widzących użytkowników w wieku 16, 23 i 50 lat. Do testów wykorzystano tablet o przekątnej 10 cali oraz mapę Polski [8] o rozdzielczości 669 x 606 pikseli przeskalowaną do szerokości ekranu. Wszyscy uczestnicy testów mieli zasłonięte oczy. W pierwszej fazie testów sprawdzono, czy użytkownicy są w stanie określić formę ukształtowania terenu wskazywanego miejsca. Osoby testujące, na podstawie dźwięków generowanych przez urządzenie, bez problemów określili rodzaj terenu. Dobór częstotliwości dźwięków odpowiadającym poszczególnym zakresom wysokości bezwzględnej został oceniony przez osoby testujące jako intuicyjny i łatwy do interpretacji.

Tabela 1. Czas potrzebny do odnalezienia miasta na mapie Polski

Miasto	Czas [sekundy]		
	Użytkownik 1	Użytkownik 2	Użytkownik 3
Olsztyn	52,6	43,3	51,4
Rzeszów	56,7	3,3	13,4
Białystok	50,8	7,5	10,2
Łódź	8,0	8,4	6,7
Warszawa	14,1	3,8	14,9
Kraków	3,0	13,6	10,9
Gdańsk	2,0	8,0	37,4
Bydgoszcz	33,1	7,0	20,8
Lublin	11,1	12,0	9,25
Szczecin	24,0	41,3	14,23
Zielona Góra	12,9	15,1	12,19
Opole	6,7	7,9	6,61
Katowice	22,0	45,5	6,49
Kielce	8,0	33,2	14,93
Wrocław	4,0	9,0	6,44
Poznań	4,0	32,0	28,84

Druga część testów dotyczyła lokalizacji miast. Dwoje użytkowników zadeklarowało znajomość położenia miast na mapie Polski jako dobrą, jeden jako złą. Procedura testowa składała się z dwóch etapów. W pierwszym etapie użytkownicy zostali poproszeni o wskazanie 16 głównych miast Polski. Do lokalizacji miast użytkownicy wykorzystywali dźwiękowe informacje o ukształtowaniu terenu oraz o położeniu głównych rzek Polski. Mierzono czas potrzebny na zlokalizowanie każdego z miast przez każdego z użytkowników. Średni czas potrzebny na znalezienie

miasta wynosił ok. 18 sekund, a najdłuższy czas potrzebny do odnalezienia miasta to 57 sekund. Długie czasy można wyjaśnić błędnym przekonaniem użytkowników o lokalizacji miasta na mapie Polski i jego poszukiwaniu w tym obszarze. Czas potrzebny użytkownikom na zlokalizowanie wybranych miast zamieszczono w Tabeli 1.

Kolejnym zadaniem było zlokalizowanie pary wskazanych miast. Średni czas potrzebny do wykonania tego zadania wynosił 24,5 sek. Szczegółowe wyniki dla tego zadania dla każdego z użytkowników zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Czas potrzebny na znalezienie wskazanej pary miast na mapie Polski

Para miast	Czas [sekundy]		
	Użytkownik 1	Użytkownik 2	Użytkownik 3
Łódź – Gdańsk	13,3	28,2	21,8
Łódź – Szczecin	4,8	21,0	14,5
Łódź – Rzeszów	42,3	13,6	20,8
Łódź – Warszawa	3,8	10,0	32,5
Olsztyn – Bydgoszcz	56,3	13,0	9,6
Olsztyn – Gdańsk	11,5	22,0	17,5
Olsztyn – Warszawa	14,3	19,5	36,8
Olsztyn – Opole	25,4	36,7	17,6
Lublin – Poznań	20,8	10,4	14,4
Lublin – Kielce	16,5	3,5	8,2
Lublin – Katowice	30,0	18,2	63,2
Lublin – Opole	42,6	26,7	7,1
Zielona Góra – Warszawa	12,5	11,6	73,7
Zielona Góra – Poznań	22,9	18,5	29,4
Zielona Góra – Łódź	108,2	13,8	11,6
Zielona Góra – Kielce	11,5	17,7	76,4

Można zauważyć, że czas potrzebny do zlokalizowania pary miast jest niewiele dłuższy niż pojedynczego miasta. Jest to spowodowane tym, że w pierwszym etapie testów użytkownicy, wskazując poszczególne miasta, nauczyli się ich położenia na mapie Polski.

Aplikacja została zaprezentowana nauczycielom Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Dzieci Słabowidzących i Niewidomych w Łodzi. Sam pomysł został oceniony pozytywnie, zwrócono jednak uwagę, że docelową platformą powinny być urządzenia z dużym ekranem dotykowym, aby możliwe było umieszczenie na ekranie jak największej ilości szczegółowych informacji bez konieczności przygotowywania fragmentów mapy lub konieczności przewijania zawartości ekranu.

### Podsumowanie

W komunikacie opisano budowę oraz testy aplikacji dla urządzeń z systemem operacyjnym Android przeznaczoną dla niewidomych i słabowidzących uczniów szkół podstawo-

wych i gimnazjów. Aplikacja umożliwi interaktywną sonifikację map hipsometrycznych, w wersji pilotażowej zaimplementowano mapę Polski. Zarówno zaproponowana metoda udźwiękowania wysokości n.p.m., jak i prezentacja dodatkowych warstw informacyjnych w postaci nazw miast i rzek, w wyniku przeprowadzonych testów, została przyjęta pozytywnie.

*Pracę dofinansowano ze środków projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki nr 2015/17/B/ST7/03884 realizowanego w Instytucie Elektroniki oraz w Instytucie Automatyki Politechniki Łódzkiej w latach 2016-2018. Autorzy pragną także podziękować pracownikom i uczniom Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Dzieci Słabowidzących i Niewidomych w Łodzi za szereg cennych uwag i sugestii dalszych prac. Mapa wykorzystana w programie pochodzi z serwisu Wikipedia [8].*

**Autorzy:** dr inż. Piotr Skulimowski, Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki, ul. Wólczańska 211/215, 90-924 Łódź, E-mail: [pskul@p.lodz.pl](mailto:pskul@p.lodz.pl); inż. Dagna Turant, ul. Wólczańska 211/215, 90-924 Łódź.

### LITERATURA

- [1] Strumiłło P., Elektroniczne systemy nawigacji osobistej dla niewidomych i słabowidzących, Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Łódź, 2012, dostęp online <http://cybra.lodz.pl/publication/3974> w dniu 26.02.2017
- [2] Meijer P.B.L., An Experimental System for Auditory Image Representations, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 39 (1992), no. 2, 112-121
- [3] Hermann T., Hunt A., An Introduction to Interactive Sonification, *IEEE Multimedia*, April-June, vol. 12 (2005), no. 2, 20-24
- [4] Radecki A., Bujacz M., Skulimowski P., Strumiłło P., Interactive sonification of colour images on mobile devices for blind persons – preliminary concepts and first tests, Interactive Sonification Workshop – ISON 2016, Bielefeld, Germany
- [5] Borowiecka I., Skulimowski P., Bujacz M., Radecki A., Strumiłło P., Interaktywna sonifikacja obrazów dla niewidomych – badania pilotażowe, *Przegląd Elektrotechniczny* nr 9 (2016), 98-101
- [6] American Printing House for the Blind, prezentacja multimedialna urządzenia Interactive U.S. Map with Talking Tactile Pen.; <https://www.youtube.com/watch?v=X4LzTfHqY9o> (dostępny online w dniu 28.02.2017)
- [7] Lengua I., Dunai L., Peris-Fajarnés G. and Brusola F., Tables and smartphones for teaching in electrical and electronics engineering, 2013 7th IEEE International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), Vienna, 2013, 146-149
- [8] Mapa hipsometryczna Polski wykorzystana w aplikacji, dostępna w dniu 02.03.2017: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Mapa\\_hipsometryczna#/media/File:Poland-hipsometric\\_map.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Mapa_hipsometryczna#/media/File:Poland-hipsometric_map.jpg)