

WIERZBICKI Jacek¹
MARCZUK Radosław²
OLSZEWSKI Ryszard³

ZINTEGROWANY MONITORING AKUSTYCZNY CIĄGÓW KOMUNIKACJI SAMOCHODOWEJ

W pracy przedstawiono ideę i prototyp zintegrowanego systemu monitoringu wykorzystywanego m.in. do badania dominującego w miastach hałasu komunikacyjnego. Integracja polega na zsynchronizowanej rejestracji i analizie danych pomiarowych z wielu różnych przetworników (mikrofon, kamera, radar, stacja meteorologiczna, wibrometr) oraz bezprzewodowej łączności stacji monitoringu z centralnym systemem archiwizacji i wizualizacji danych.

Przedstawione rozwiązanie wykorzystane może być zarówno do automatycznego wskazywania głównego źródła hałasu jak i tworzenia „aktywnych”, zmieniających się w czasie rzeczywistym map akustycznych.

INTEGRATED ACOUSTIC MONITORING OF CAR COMMUNICATIONS SYSTEM

In this paper idea and prototype of integrated monitoring system is presented. System is used to investigation of traffic noise, dominating in the cities. Main idea is integration of synchronized measurement and recording data from many sources like: microphone, camera, radar, meteorological station, vibrometer with central system of archiving and data visualisation.

Presented solution can be used for automatic recognition of main noise source and for developing „active” acoustic maps, presenting data in real time.

1. WSTĘP

Zgodnie z obowiązującymi przepisami (dyrektywa 2002/49/WE [1]), co 5 lat konieczne jest wykonywanie map akustycznych dla miast powyżej 100.000 mieszkańców oraz dróg, szlaków kolejowych i lotnisk o zdefiniowanym w dyrektywie ruchu. Mapa powinna przedstawiać informacje co najmniej o czterech kategoriach źródeł hałasu: przemysłowym, drogowym, kolejowym i lotniczym i tworzona jest głównie na podstawie obliczeń przy

¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki; 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30; e-mail: wierzbic@agh.edu.pl

²jw. e-mail: marczuk@agh.edu.pl

³jw. e-mail: olszewsk@agh.edu.pl

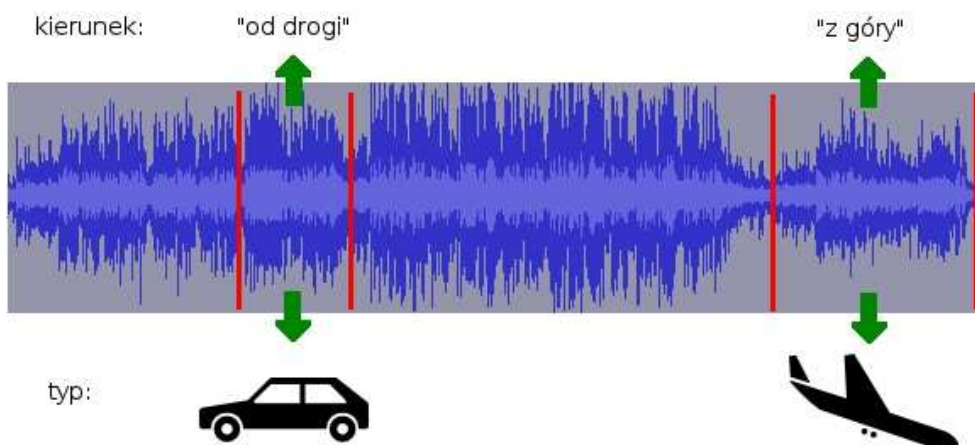
pomocy specjalistycznego oprogramowania komputerowego [2]. Zastosowanie wyników obliczeń zamiast danych pomiarowych wynika głównie z powodu ograniczeń systemów monitoringu - przede wszystkim niemożności automatycznej detekcji źródeł hałasu.

W celu jednoznacznego wskazania wpływu poszczególnych źródeł hałasu zarówno na potrzeby mapy akustycznej jak i rozstrzygania spraw spornych (np. wskazania dominującego źródła w przypadku sąsiedztwa drogi i zakładu przemysłowego) niezbędna jest modyfikacja dotychczas stosowanych technik pomiarowych. Propozycją może być zintegrowany system monitoringu akustycznego z detekcją źródeł hałasu. Integracja polega na zsynchronizowanej rejestracji i analizie danych pomiarowych z wielu różnych przetworników (mikrofon, kamera, radar, stacja meteorologiczna, wibrometr) oraz bezprzewodowej łączności stacji monitoringu z centralnym systemem archiwizacji i wizualizacji danych. System taki powinien umożliwić:

- ciągłą, zsynchronizowaną rejestrację i transmisję danych multimedialnych,
- automatyczną detekcję typu źródeł hałasu,
- lokalizację źródeł hałasu w otaczającej stację przestrzeni,
- tworzenie bazy danych, która oprócz danych pomiarowych zawierałaby ustandaryzowane informacje o miejscu pomiarów, sposobie i warunkach ich przeprowadzania oraz wykrytych źródłach hałasu.

Prowadzone w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki AGH prace koncentrują się przede wszystkim na automatycznym rozpoznawaniu źródeł hałasu. Z problemem tym związane są dwa zagadnienia:

- detekcja kierunku dochodzenia do stacji monitoringu dominujących dźwięków
- rozpoznanie i kategoryzacja źródła dźwięku



Rys. 1. Idea systemu monitoringu z detekcją typu i lokalizacją źródeł hałasu

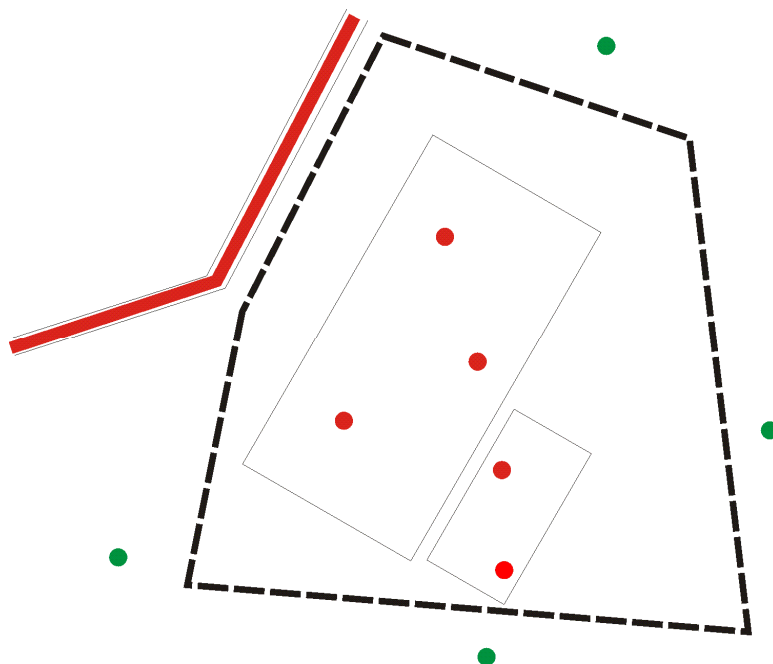
Jako pierwszy etap realizowane są badania związane z detekcją kierunku dochodzenia dominujących dźwięków do stacji monitoringu. Pozyskanie takiej informacji umożliwi

preselekcję danych pomiarowych i dokładniejsze określenie np. wpływu pobliskiego zakładu przemysłowego czy hałasu spowodowanego ruchem lotniczym na pomiary hałasu komunikacji drogowej (Rys.1).

2. PRESELEKCJA DANYCH POMIAROWYCH

Podczas tworzenia map hałasu jak i w pomiarach środowiskowych pojawia się problem identyfikacji źródeł hałasu. Zazwyczaj źródła te są określane przez osoby wykonujące pomiary. Problem nabiera znaczenia w przypadku bliskiego sąsiedztwa źródeł różnego typu, dla których określone mogą być dodatkowo różne dopuszczalne maksymalne poziomy hałasu. Dla otoczenia zakładów pracy ciągłej pojawia się dodatkowo problem przy określeniu tła akustycznego. Trudności sprawiają także obecnie obowiązujące normy i przepisy w zakresie pomiarów - wprowadzenie wymogu pomiarów długookresowych L_{DEN} - o długim okresie uśredniania. Żaden z obecnie stosowanych systemów rejestracji ciągłej nie umożliwia zachowania informacji o przestrzenności - kierunku docierającego do mikrofonu dźwięku.

Na Rys.2. przedstawiono typowy problem – należy określić wpływ hałasu komunikacyjnego z dojazdowej drogi publicznej (czerwona linia) na pomiary w wytypowanych miejscach (zielone punkty). Do określenia tego wpływu konieczne jest wyeliminowanie źródeł z pobliskiego zakładu przemysłowego (zaznaczone czerwonymi punktami).

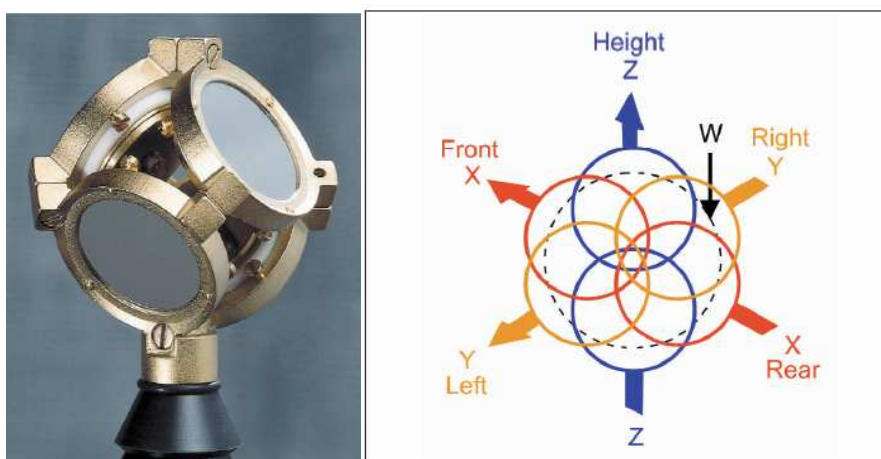


Rys. 2. Przykład typowego problemu dotyczącego separacji źródeł hałasu

Zaproponowane rozwiązanie polegało na zastosowaniu preselekcji danych pomiarowych wg kryterium kierunku dochodzenia dźwięku do miernika. Zazwyczaj wykorzystuje się w tym celu macierze mikrofonów, jednak w tym przypadku rozwiązanie to zostało odrzucone ze względu na koszty. W zamian zaproponowano identyfikację kierunku w punkcie pomiarowym realizowaną przy pomocy zmodyfikowanego systemu SoundField.

3. LOKALIZACJA ŹRÓDŁA DŹWIĘKU

Do detekcji kierunku dochodzenia dźwięku ze źródła hałasu do stacji monitoringu zaproponowano zestaw mikrofonów o nazwie SoundField [3]. Zestaw ten składa się z czterech kapsuł mikrofonowych i jednostki sterującej. Kapsuły są umieszczone blisko siebie w celu wyeliminowania problemów fazowych związanych z przestrzennym układem wielomikrofonowym. Cztery sygnały z kapsuł (nazywane SoundField A-Format) zamieniane są w układzie sterującym na cztery sygnały B-Format, które zawierają pełną informację o polu akustycznym. Trzy z nich, oznaczone X, Y, Z niosą informację odpowiednio o kierunkach: przód-tył, lewo-prawo, góra-dół, czwarty natomiast oznaczony literą W jest traktowany jako sygnał odniesienia dla pozostałych (Rys.3.).



Rys. 3. Macierz kapsuł SoundField i układ składowych sygnałów B-Format

Z rejestrowanego zestawu sygnałów B-Format możliwe jest uzyskanie informacji o amplitudzie dźwięku dochodzącego z konkretnego kierunku. W najprostszym, dwuwymiarowym układzie (bez informacji o wysokości), sygnał P z kierunku θ (interpretowany jako sygnał z wirtualnego mikrofonu zwróconego w tym kierunku) opisany jest wzorem:

$$P = W + X\cos\theta + Y\sin\theta \quad (1)$$

Z sygnału B-Format możliwe jest także uzyskanie sygnałów jak z tradycyjnych mikrofonów mono, stereo lub dookólnych o dowolnej charakterystyce – od wszechkierunkowej, poprzez kardioidalną do ósemkowej. Pierwsze eksperymenty polegały na wykorzystaniu opisanych właściwości do wyznaczenia sygnałów dochodzących z kierunków co 45° a następnie poprzez porównanie ich amplitud wskazanie dominującego kierunku. Drugim, dokładniejszym sposobem jest wyznaczanie ze składowych W, X, Y dominującego wektora dla konkretnego przedziału czasu.

W większości rozpatrywanych przypadków konieczne jest wskazanie nie tyle kierunku dochodzenia dźwięku, ile ocena, które źródło hałasu jest dominujące. W przedstawionym na Rys.2 układzie konieczne było wykazanie, czy zakład przemysłowy jest „głośniejszy” od drogi publicznej. Z zarejestrowanych przez system monitoringu ciągłego danych można poprzez ręczny wybór fragmentów przebiegu zaznaczyć wpływ przejeżdżających samochodów i dokonać stosownych obliczeń. Przy wykorzystaniu natomiast autorskich algorytmów, możliwe jest automatyczne stworzenie tabeli (różnica poziomu zarejestrowanych sygnałów z poszczególnych kierunków) i wskazanie źródła dominującego.

4. PROTOTYP MULTIMEDIALNEJ STACJI MONITORINGU

Przedstawione rozwiązanie dotyczy jednego z wymienionych we wprowadzeniu zakresów badań. Rozwój mobilnych stacji monitoringu akustycznego środowiska przebiega obecnie w następujących kierunkach:

- zapewnienie multimedialności rejestrowanych danych (oprócz danych liczbowych dotyczących poziomu dźwięku, także przebiegi audio, wideo, informacje o warunkach atmosferycznych, ruchu pojazdów, drganiach itp.)
- umożliwienie ciągłej rejestracji danych oraz ich wstępnego przetwarzania w stacji i transmisji w czasie rzeczywistym do centralnej bazy danych,
- wielokanałowość rejestrowanych danych audio-wideo,
- wyposażanie w alternatywne źródła energii (np. baterie słoneczne) umożliwiające długookresową pracę z dala od dostępu do sieci energetycznej.

W ramach prac prowadzonych w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki związanych z realizacją grantu rozwojowego powstaje prototyp mobilnej stacji monitoringu akustycznego środowiska z możliwością automatycznej detekcji źródeł zakłóceń (Rys. 4). Stacja ta, zabudowana na bazie samochodu Mercedes Vito, wyposażona jest zgodnie z przedstawionymi tendencjami. Wysuwany maszt umożliwia pomiary do wysokości 10m. Do masztu zamocować można 4 kamery do rejestracji obrazu, mikrofony używane do rejestracji sygnałów audio i pomiarów hałasu, radar do rejestracji ruchu drogowego oraz stację meteorologiczną. Stacja nie wymaga podłączenia do sieci energetycznej. Urządzenia zasilane są z akumulatorów, ładowanie których umożliwiają ogniwa słoneczne bądź spalinowe agregaty prądotwórcze. Do rejestracji sygnałów pomiarowych służy zabudowany komputer przemysłowy współpracujący z analizatorem dźwięku np. SVAN 959.



Rys. 4. Prototyp mobilnej stacji multimedialnego monitoringu środowiska

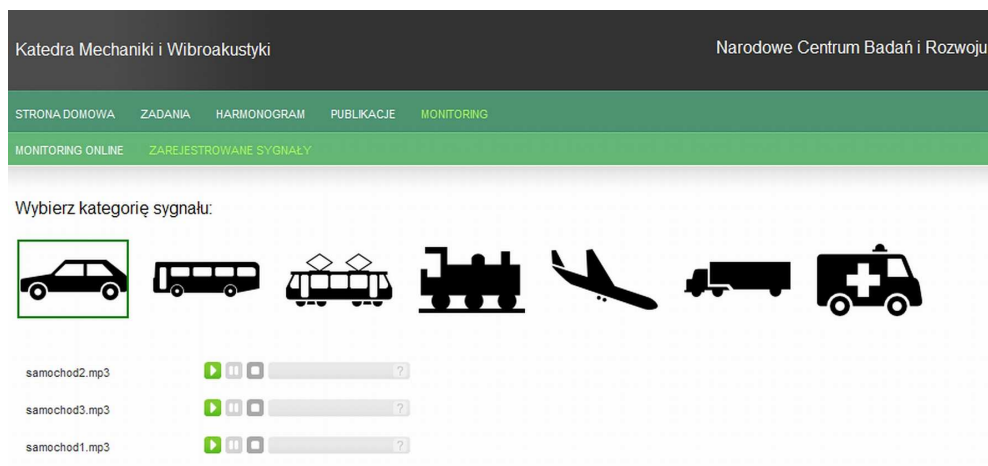
Dane pomiarowe ze stacji mogą być przekazywane bezprzewodowo dzięki wyposażeniu w moduł łączności WiFi oraz modem GSM.

Gromadzone przez stację dane są wykorzystywane do opracowywania i testowania algorytmów automatycznego rozpoznawania zakłóceń. W celu prawidłowego skalibrowania działania tych procedur, konieczne było stworzenie bazy sygnałów podstawowych dla typowych rodzajów źródeł.

Zarejestrowany sygnał podlega tzw. segmentacji, czyli wydzielane są z niego pojedyncze sygnały przejeżdżających aut osobowych, ciężarowych, pociągów, przelatujących samolotów itp. Istnieje możliwość odsłuchania tych sygnałów, bowiem przykładowe sygnały podstawowe prezentowane są na stronie projektu (Rys. 5) [4].

Dodatkowo opracowywane są kolejne eksperymenty związane z:

- detekcją przy pomocy mikrofonu 3D kierunku i szybkości przejazdu pojazdu
- wykorzystaniem dwóch mikrofonów 3D – możliwość określenia odległości źródła
- powiązaniem rejestracji audio z rejestracją wideo – nanoszenie na obraz z kamery obszarów informujących o poziomie ciśnienia akustycznego – wskazanie źródeł hałasu



Rys. 5. Baza danych sygnałów podstawowych: www.monitoringakustyczny.pl

5. „AKTYWNA” MAPA AKUSTYCZNA

Wskazana we wstępie dyrektywa nie tylko nakłada obowiązek tworzenia map akustycznych ale również opublikowanie tych informacji. Tworzone obecnie mapy mają statyczny charakter, nie uwzględniający zmian w czasie rzeczywistym. A skoro tak, to nasuwa się pytanie o aktualność przedstawionych danych.

Naturalnym rozwinięciem tworzonych obecnie map, byłaby tzw. „aktywna” mapa akustyczna. Aktywność tej mapy polegałaby głównie na tym, że tworzona byłaby na podstawie danych przekazywanych w czasie rzeczywistym ze stacji monitorujących.

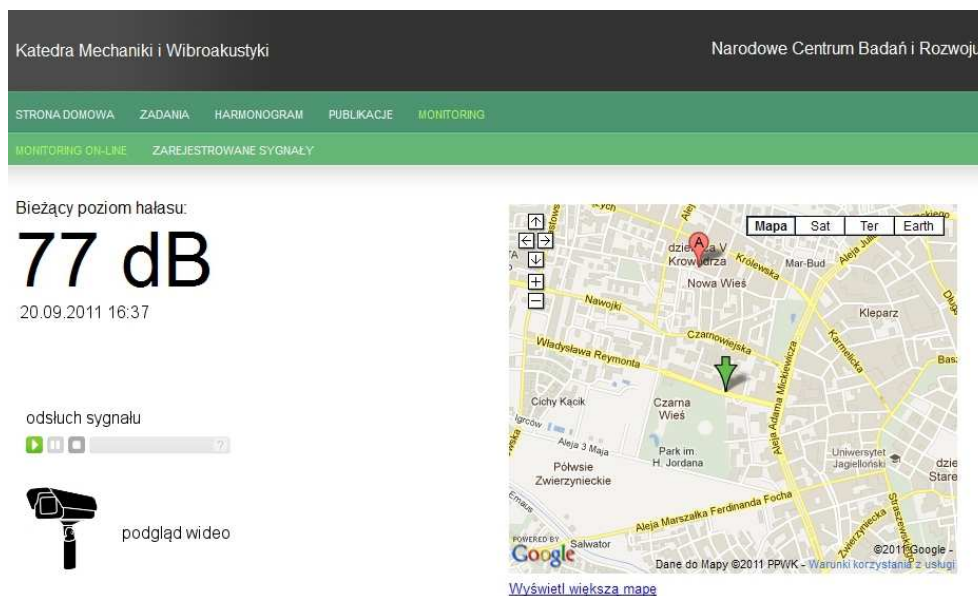
Budowany w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki prototyp mobilnej stacji monitorującej wyposażony został w moduły umożliwiające łączność z siecią Internet, co zapewnia pozyskiwanie danych pomiarowych w czasie rzeczywistym.

W ramach prac nad prototypem testowane jest rozwiązanie umożliwiające odczyt danych o bieżącym poziomie hałasu oraz bezpośredni odsłuch rejestrowanego właśnie sygnału oraz podgląd wideo sytuacji w okolicy stacji monitorującej. Dzięki wykorzystaniu GPS możliwe jest zlokalizowanie położenia stacji na mapie.

Testowane rozwiązanie można znaleźć na stronach projektu [4] (Rys.6) na zakładce „monitoring online”.

6. PODSUMOWANIE

Przystawione w pracy rozwiązanie jest prototypowe i wg wiedzy autorów stanowią pierwsze zastosowanie mikrofonu typu SoundField do celów detekcji kierunku dochodzących dźwięków w przestrzeni otwartej dla potrzeb systemów monitoringu środowiska. Stosowane obecnie macierze mikrofonów lub tzw. kamery mikrofonów są rozwiązaniami dużo droższymi i jako systemy wielokanałowe wymagającymi specjalizowanego toru pomiarowego.



Rys. 6. Monitoring online: odczyt danych pomiarowych, odczyt strumieni audio i wideo

Pierwsze otrzymane wyniki potwierdzają celowość kontynuacji badań oraz że:

- obecna technologia umożliwia stworzenie taniego i skutecznego zintegrowanego systemu monitoringu multimedialnego z detekcją co najmniej kierunku dochodzenia dźwięku (w przypadku dwóch sond 3D także odległości źródła),
- konieczna jest integracja systemów monitoringu różnych służb w celu optymalizacji wykorzystania przetworników/mierników, np. kamer, stacji pogodowych,
- niezbędne są uregulowania prawne, umożliwiające dopuszczenie tanich mikrofonów/mierników, co spowoduje znaczące zwiększenie liczby monitorowanych miejsc – nie jest konieczna dokładność „0,1dB” w długookresowych pomiarach środowiskowych,
- znaczące zwiększenie monitorowanych miejsc pozwoli w przyszłości na stworzenie „aktywnych” map akustycznych, prezentujących bieżące wyniki pomiarów,
- obecna technologia pozwala na stworzenie stacji monitorujących komunikujących się za pośrednictwem sieci Internet, co znacząco ułatwia akwizycję danych i daje możliwości nie spotykane w dotychczasowych rozwiązaniach (bezpośredni odsłuch audio i podgląd wideo).

Zaprezentowane rozwiązanie umożliwia wykorzystanie zarejestrowanych dźwięków 3D w celach dokumentacji stanu środowiska oraz odtworzenie, a nawet transmisję bezpośrednią przy pomocy technologii ambisonii, przestrzennej informacji o polu

akustycznym z miejsca lokalizacji stacji monitoringu do pomieszczenia obsługi systemu np. służb kontroli środowiska lub porządkowych.

Pracę wykonano w ramach projektu rozwojowego nr N R03 0030 06 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] DIRECTIVE 2002/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of June 25 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities, L189/12-25, 18.7.2002
- [2] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) Position Paper "Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure Version 2." (2006)
- [3] Strona producenta mikrofonów SoundField: <http://www.soundfield.com>
- [4] Strona projektu rozwojowego NR 03003006: <http://www.monitoringakustyczny.pl>
- [5] Olszewski R., Marczuk R., *Problem drgań i hałasu w środkach transportu publicznego*, Logistyka nr 6, 2010